



**MN VE B İHTİVA EDEN CİVATALIK  
KALİTELERDE YARI MAMÜL YÜZEY  
KALİTESİNİN MAMÜLE ETKİSİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Nuri ÖZTEKİN**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**MN VE B İHTİVA EDEN CİVATALIK KALİTELERDE YARI MAMÜL  
YÜZEY KALİTESİNİN MAMÜLE ETKİSİ**

**Nuri ÖZTEKİN**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Mayıs 2023**

Nuri ÖZTEKİN tarafından hazırlanan “MN VE B İHTİVA EDEN CİVATALIK KALİTELERDE YARI MAMÜL YÜZEY KALİTESİNİN MAMÜLE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 09/06/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

ONLINE

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı KARA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Nuri ÖZTEKİN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **MN VE B İHTİVA EDEN CIVATALIK KALİTELERDE YARI MAMÜL YÜZEY KALİTESİNİN MAMÜLE ETKİSİ**

**Nuri ÖZTEKİN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**Mayıs 2023, 56 sayfa**

Sürekli döküm ile üretilen kütüklerde göz önünde bulundurulanan belirli kusurlar, Köşe Dışı Çatlak, Çapraz Çatlak, Merkez Hattı Çatlağı, Pinch roll Çatlağı, orta Çatlak, Üfleme Delikleri ve Gözenekliliktir. Bu nedenle, haddelenmiş ürünlerdeki kusurların kaynağını bulmak, döküm koşullarını kontrol altında tutmaya bağlıdır. Bu çalışmada MnB ihtiva eden bağlantı elemanları kalitelerinde kullanılan filmaşınların üretiminde kullanılan yarı mamullerin yüzey kalitesinin nihai mamullerin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yüzeyi taşlanmış ve taşlanmamış yarı mamullerden üretilen filmaşınların mikro ve makro yapı incelemeleri, basma ve preste ezme testi uygulanarak aralarında kıyaslama yapılmıştır. İncelenen numunelerin mikro yapısı ferrit+perlit karışımındadır. Basma testleri load cell içeren cihazlarda yapılmakta olup taşlanmamış numuneleri belirli deformasyona karşılık taşıdıkları yük değeri taşlanmış numunelerinkinden daha düşüktür. Load cell içermeyen pres altında ezme testi sonucu

taşlanmamış numunelerin hasara uğradığı gözlenmiştir. Hasar bölgesinin detaylı incelemesi yüzeyde oksit ve cüruf sıkışmasının meydana geldiğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Kütük Taşlama, Mn, B Katkılı Kangal, Yüzey kusurları, Cıvata.

**Bilim Kodu** : 91525

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF SEMI-FINISHED SURFACE QUALITY ON THE PRODUCT IN BOLT GRADES CONTAINING Mn AND B**

**Nuri ÖZTEKİN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**May 2023, 56 pages**

Specific defects to consider in continuous casting billet are Out of Corner Crack, Cross Crack, Centerline Crack, Pinch roll Crack, center Crack, Blow Holes and Porosity. Therefore, locating the source of defects in rolled products depends on keeping casting conditions under control. In this study, the effect of the surface quality of the semi-finished products used in the production of wire rods used in fastener qualities containing MnB on the properties of the final products was investigated. The micro and macro structure examinations of wire rods produced from semi-finished and non-ground semi-finished products were compared by applying compression and press crushing tests. The microstructure of the examined samples is in the mixture of ferrite+perlite. Compression tests are carried out on devices containing load cells, and the unground samples have a lower load value against certain deformation than the grinded samples. As a result of the crush test under the press without load cell, it was observed that the unground samples

were damaged. Detailed examination of the damage area revealed that oxide and slag compaction had occurred on the surface.

**Key Word** : Billet Grid, Mn, B Alloyed wire rod, Surface oxide, Bolt.

**Science Code** : 91525



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tasarlanması ve yürütülmesinde bana destek olan, engin bilgi ve tecrübelerini aktaran danışmanım Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteğini eksik etmeyen Kardemir A.Ş. Çubuk ve Kangal Haddehanesi Müdürü Sayın Osman IŞIKGÜL'e, ve Kardemir A.Ş. AR-GE Müdürlüğü Yönetici ve Araştırmacılarına en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi-manevi desteğim olan başta ailem olmak üzere çok kıymetli sevgili eşim Sema ÖZTEKİN'e en içten minnet ve şükran duygularıyla ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ihtiyacım olan verileri kullandığım için Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Bu çalışma Karabük Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından KBÜBAP-23-YL-010 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
HATALAR.....	3
2.1. PİM (İĞNE) DELİKLERİ .....	4
2.2. MAKRO SEGREGASYON .....	13
2.3. KAPALI KÖŞE ÇATLAĞI.....	13
2.4. YILDIZ ÇATLAKLARI.....	14
2.5. ENİNE ÇATLAKLAR .....	14
2.6. ÇAPRAZ ÇATLAK (RHOMBOİD ŞEKİL-KÖŞE ÇATLAKLARI İLE BAĞLANTILI DİYAGONAL ÇATLAKLAR).....	18
2.7. MERKEZ HATTI ÇATLAĞI.....	19
2.8. KISTIRMA RULOSU ÇATLAĞI.....	19
2.9. YARI YOL ÇATLAĞI .....	19
2.10. ÜFLEME DELİKLERİ (ALT YÜZEY ÜFLEME DELİKLERİ) .....	20
2.11. BÜZÜLME (SHRINKAGE) GÖZENEKLİLİĞİ .....	24
2.12. İNKLÜZYON .....	25
2.13. CÜRUF SIKIŞMASI VE SOĞUK DAMLALAR OLUŞUMU .....	28

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 .....	36
KUSURLARIN KÖKENİNİ BELİRLEME YÖNTEMİ.....	36
BÖLÜM 4 .....	39
KÜTÜK TAŞLAMA İLE KUSURLARIN GİDERİMİ .....	39
BÖLÜM 5 .....	44
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
BÖLÜM 6 .....	48
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
6.1. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU .....	48
6.2. LOAD CELL İLE BASMA .....	49
6.3. LOAD CELL İÇERMEYEN PRES İLE BASMA TESTİ.....	50
BÖLÜM 6 .....	53
GENEL SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Döküm tozu ile dökülmüş bir kütüğün yüzeyindeki pim deliklerinin (a) Büyüteçle ve (b) çıplak gözle görünüşü .....	5
Şekil 2.2.	Yağ ile dökülmüş düşük karbonlu çelik kütüğün yüzeyindeki iğne deliklerinin görünümü. Kütük boyunca çapraz olarak dağılım. Sol: döküm olarak ve Sağda: kumlamadan sonra yüzeyi .....	5
Şekil 2.3.	Kum püskürtme sonrası düşük karbonlu çelik kütük yüzeyi.....	6
Şekil 2.4.	Düşük karbonlu parlatılmış/dağlanmış çelik kütükteki iğne deliğinin ışık mikroskobu altında görünümü (kütük yüzeyine dik gözlem). Sol: parlatılmış olarak. ....	7
Şekil 2.5.	Kalıptaki yağ dağılımı. Sol: değişikliklerden önce. Merkez: değişikliklerden sonra (çalışma ömründen önce). Sağda: Çalışma ömründen sonra .....	8
Şekil 2.6.	Yeniden ısıtılmış ve haddelenmemiş 150 x 150 mm orta karbon kütüğün yüzeyinde kalan iğne deliklerinin görünümü .....	9
Şekil 2.7.	Kütüğün yeniden ısıtılmasından sonra kütük yüzeyine dik parlatılmış bir kesimindeki iğne deliklerinin görünüşü (yeniden ısıtmadan önceki Şekil 2.2. ile karşılaştırılır. Işık mikroskobu, dağlama yok).....	9
Şekil 2.8.	Haddeleme sonrasında orta karbonlu düz çubuk ucundaki uzun bir iğne deliğinin görünümü .....	10
Şekil 2.9.	Derin pim deliğine sahip kütüğün haddelenmesi ile üretilmiş çubukta kusur .....	10
Şekil 2.10.	Enine bir inşaat demiri kesimindeki eski bir iğne deliğinin metalografik görünümü. Sol: Nital ile dağlanmış ve Sağ: parlatılmış görünüm .....	11
Şekil 2.11.	İnşaat demirinde iğne deliği ile ilgili bir kusurun ışık mikroskobundaki görünüşü. İç kısımdaki kalınlık yüzeydekinden daha büyüktür. Sol: Dağlama yok; İç oksidasyon yapısı görülür. Sağ: %2 Nital; Güçlü dekarbürilasyon mevcuttur .....	11
Şekil 2.12.	Çöküntü ile köşe dışı çatlak .....	13
Şekil 2.13.	Kum püskürtülmüş kütük üzerindeki enine çatlağın görünümü .....	15
Şekil 2.14.	Oberhoffer dağlamasının ardından ışık mikroskobundaki enine çatlağın detayı .....	16
Şekil 2.15.	HCl ile dağlamadan sonra (a) büyüteçle ve (b) çıplak gözle gözlemlenen enine çatlaklar.....	16
Şekil 2.16.	Haddeleme sonrasında V kusuru oluşturan enine bir çatlağın gelişimi. Sol: düşük karbon çubuğunun görünümü. Sağda: Dağlama işleminden sonra aynı çubuğun enine çatlağı .....	17

Şekil 2.17. Döküm tozu ile üretilmiş kütükteki enine çatlakların haddeleme sonrasında V kusuru olarak gelişimi .....	17
Şekil 2.18. Diyagonal Çatlak .....	18
Şekil 2.19. Yarı Yol Çatlağı.....	20
Şekil 2.20. Sol: Hava delikli bir karbon çelik kütüğün sulu kesme diski ile kesimi [1,2]. Sağda: Hava delikleri olan bir karbon çelik kütüğün oksijenle kesilmesi. ....	21
Şekil 2.21. Sol: Şekil 11'deki hava deliklerinin detayı. Merkez: Yüzeiden hava deliklerinin ilk oluşumuna kadar kütüğün yapısı. Oberhofer dağılayıcı. Sağda: Hava deliğinin alt kısmındaki yapı, ferostatik basıncın kapatma etkisini ve hava deliğinin altındaki ayrılmış bölgeyi gösteriyor	21
Şekil 2.22. Serbest kesim çelik kütük köşesinin enine kesiti, küçük bir gözenek gösteriyor.....	22
Şekil 2.23. Hava deliği oluşumunun modellenmesinin tipik bir düşük karbonlu çeliğe uygulanması: %0,05 C, 0,40 Mn .....	23
Şekil 2.24. Cüruf inklüzyonları.....	26
Şekil 2.25. Kütüklerde cüruf tutulması olarak değerlendirilen kusurların görünümü.....	28
Şekil 2.26. Kütüklerde cüruf sıkışması olarak değerlendirilen kusurların görünümü.....	28
Şekil 2.27. Parlatılmış numunelerdeki cüruf sıkışması olarak nitelendirilen kusurların çıplak gözle görünümü. Malzeme eksikliğinin yanı sıra soğuk damlalar ve gözeneklilik belirtisi.....	29
Şekil 2.28. Metalik olmayan inklüzyonlar: demir oksit dendritli manganer silikat ..	29
Şekil 2.29. Çeliği çevreleyen manganer silikat ve demir oksit.....	30
Şekil 2.30. Küresel makro inklüzyonlar. Solda: Rodhonit manganer silikat; Ortada: kristobalit dendritli manganer silikat, Sağ da; Camsı manganer silikat .....	30
Şekil 2.31. Kusur içindeki soğuk damlalar. Bazıları izole edilmiş, diğerleri yeniden erimiş, ancak sınır dağlama ile ortaya çıkıyor.....	31
Şekil 2.32. Çeliği çevreleyen manganer silikatla kaplı dekarburizasyon .....	31
Şekil 2.33. MnO- SiO <sub>2</sub> diyagramında kabuk bağlanmalarının konumu.....	32
Şekil 2.34. Çelikte Mn ve Si'nin bir fonksiyonu olarak SiO <sub>2</sub> 'nin çökmesi için denge eğrileri.....	33
Şekil 2.35. Soğuk damlaların oluşumu ve hapsolme mekanizması. (a) Sıçrama, (b) Damlaların kalıp köşelerinde birikmesi, (c) Katılaştıran kabukta kopma ve hapsolme ve (d) Kalan yağın termal ayrışması nedeniyle patlama .....	34
Şekil 4.1. 90° taşlama proses simülasyonu.....	40
Şekil 4.2. Taşlama taşının yapısı. ....	40

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 4.3. Cürüflanma Hatalarının Örnek Görselleri .....	41
Şekil 4.4. Enine Çatlak Hatalarının.....	42
Şekil 4.5. Boyuna Köşe Çatlağı Örnek Görseli .....	43
Şekil 4.6. Taşlanmış Yarı Mamül Kütüğün Görseli.....	43
Şekil 5.1. LECO ONH 836 marka elementel analiz cihazı.....	44
Şekil 5.2. (a) Steero ve (b) optik ışık mikroskobu. ....	45
Şekil 5.3. Carl Zeiss Ulrta Plus Marka SEM görünümü. ....	46
Şekil 5.4. (a) load cell içermeyen ve (b) load cell içeren basma test cihazlarının görünümü.....	46
Şekil 6.1. İncelenen (a) kütük ve (b) kangalların mikroyapısı. ....	48
Şekil 6.3. (a) kafa ve (b) kuyruk kısımlarının basma testi sonuçları .....	50
Şekil 6.4. Pres yardımı ile basılmış numunelerin makro görüntüleri.....	51
Şekil 6.5. Pres yardımı ile basılmış numunelerin mikro görüntüleri. ....	51
Şekil 6.6. (a) Kafa ve (b) Kuyruk kısımlarındaki çatlak boyutları.....	52
Şekil 6.7. Yüksek Büyütmedeki SEM Görüntüleri .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Kütük dökümünde dahili çatlama sorunları.....	27
Çizelge 2.2. Metalik olmayan malzemenin EDS analizi .....	30
Çizelge 3.1. Kusurların kaynağının belirlenmesi için metodoloji.....	37
Çizelge 3.2. Kusurların incelenmesi için teknikler ve bunların menşei hakkında verdikleri bilgiler. ....	38
Çizelge 5.1. Yarı mamul 17MnB3 kütüğün kimyasal bileşimi.....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Fe	: demir
C	: karbon
O <sub>2</sub>	: oksijen
CO <sub>2</sub>	: karbondioksit
CO	: karbonmonoksit
H <sub>2</sub>	: hidrojen
Al	: alüminyum
Ca	: kalsiyum
Mn	: mangan
Si	: silisyum
B	: bor
CH <sub>4</sub>	: metan
N <sub>2</sub>	: azot
%	: yüzde
SiO <sub>2</sub>	: silisyum dioksit
mm	: milimetre
cm	: santimetre
MgO	: magnezyum oksit
EDS	: enerji dağılım spektroskopisi



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Çatlak, Merkez Hattı Çatlağı, Pinch roll Çatlağı, orta Çatlak, Üfleme Delikleri ve Gözenekliliktir. Bu nedenle, haddelenmiş ürünlerdeki kusurların kaynağını bulmak, döküm koşullarını kontrol altında tutmaya bağlıdır [1,2,3].

Bu önlemlere rağmen, sürekli döküm ürününde kusurların oluşması tamamen önlenemez. Sürekli döküm makine ekipmanının durumuna, dökülen ürünün şekline ve boyutuna, çelik kalitesine, döküm sıcaklığı ve hızı gibi dökümün teknolojik koşullarına, kalıp salınımı ve soğutması ile kalitesine, döküm türü ve döküm tozunun özellikleri vb. parametrelere bağlı olarak bir sürekli döküm ürününde kusurlar oluşur. Bu kusurlar teknik standartlarda verilen özelliklerle karşılaştırıldığında şekil, boyut, makro yapı, görünüm ve/veya kimyasal özelliklerde sapma olarak tanımlanabilir. Sürekli döküm ürünündeki kusurlar, dökümden sonra soğutma yataklarında yüzeylerinin görsel olarak incelenmesi, muayene yataklarında tekrar yüzey kalitesinin kontrol edilmesi veya laboratuvarlarda test numunelerinin kimyasal analizi ve makro yapısının kontrol edilmesi yoluyla tespit edilir. Sürekli döküm ürünlerinde katılaştırma ve soğutma işlemi sırasında oluşan kusurlar, daha sonraki işlemler veya satış için kaliteli malzemenin kaybolmasına veya saptırılmasına neden olur. Bu kayıpları önlemek için, önleyici metalürjik teknolojileri ve yapıcı çözümleri benimseyerek önleyici faaliyette bulunmak için kusurların ortaya çıkma nedenlerini analiz etmek gerekir. Ayrıca kusurlu ürünü ana malzemedan ayırmak ve uzaklaştırmak gerekir. Bir kusur her zaman tek bir nedenin sonucu değildir. Çoğu zaman, kusur değişken sayıda parametreye bağlı olan birden çok birbiriyle ilişkili nedenin sonucudur. Benzer kusurların bir veya daha fazla farklı nedeni olabilirken, farklı kusurların bir veya daha fazla ortak nedeni olabilir. Sürekli döküm kütüklerindeki kusurlar, üretim sürecinde malzeme ile ilgili faktörler, döküm hızları ve sıcaklıkları, kalıp salınımı, faz dönüşümü, döküm tozu, çözünen elementlerin ayrışma katsayısı ve mekanik ve termal

gerilmeleri içeren çeşitli faktörler nedeniyle şekillenir. Direnç, Ferro statik basınç, doğrultma işlemleri, bükme ve yuvarlanma basıncı nedeniyle mekanik gerilmeler oluşur. Termal gerilimler, ikincil bölge ve/veya kalıpta eşit olmayan soğumadan kaynaklanır. Kütük yüzeyine çarpan su akışının kontrol edilmesi ve kordonun yeniden ısınmasının en aza indirilmesi termal gerilimleri azaltabilir [1].

Malzemeye bağlı faktörler, deltadan gama parçasına dönüşüm, yüksek kükürt ve düşük manganez kükürt büyüklük ilişkisi yüksek atom numarası, sıvı çeliğin yüksek aşırı ısınma potansiyeli ve sıvı çelik içinde inklüzyonların varlığını kapsar. Delta ferritin gama östenite dönüşmesi sırasında, katıdan ısı transferinin hızını azaltan hacim değişiklikleri ve deformasyonlar meydana gelir, bu katı çelik kabuğun kalınlığının uniform olmamasına yol açar. %0,09 ila %0,15 karbon içeriğine sahip çelikler, iddia edilen peritektik çelikler, tipik olarak uzunlamasına çatlak kusurlarının oluşma riski altındadır. Yüksek döküm hızları, aşırı koşullarda kırılabilir soğukluk (chilliness) bölgesinin kalınlığını azaltır. Soğukluk bölgesinin zayıflaması ayrıca kaba metalik olmayan parçacıkların ve salınım işaretlerinin varlığıyla desteklenir. Yüksek döküm sıcaklıkları daha yüksek aşırı ısınma (super heat) kütüğün yüzey sıcaklıklarını artırır. Böylece yüzeyde çatlakların ve kusurların oluşmasına neden olan termal ve çekme gerilimi oluşur. Sıvı çeliğin döküm sıcaklığı sıvılaştırma (likudüs) sıcaklığının üzerinde tutulmalıdır. Döküm sıcaklığı ve dolayısıyla sıvılaştırma sıcaklığı arasındaki fark, aşırı ısınma (super heat) olarak adlandırılır. Sıvı çeliğin aşırı ısınması, kusur oluşumunda hayati bir rol oynar ve onu düzenlemek gerekir. Zayıf yağlama ve kütüğün ve/veya nihai ürünün (strand) düzleştirilmesi sırasında mekanik deformasyonlar meydana gelir. Uzunlamasına ve çapraz yönlerde hareket ederler. Kütük hızla soğuduğunda termal gerilme çapraz yönde hareket eder ve kusurların oluşmasına neden olabilir. Kalıp salınımı (oscillation) sıvı metalin kalıba yapışmasını engeller. Kalıbın zaman zaman salınım frekansında yüzey kırılır veya yüzey çatlak ve salınım izleri oluşur. Bazı durumlarda kalıbın belirli derece büyütülmüş-artırılmış salınım frekansı ve sabit bir döküm hızı ile kusur oluşumu önlenir [1].

## BÖLÜM 2

### HATALAR

üreklî döküm bir ürününde bulunabilecek birçok kusur vardır ve 3 farklı kusur stiline ayrılabilir [1].

- Şekil kusurları (boyutsal doğruluk için); (Örneğin Rombiklik, Şişkinlik, Ovalite ve Gerilim)
- Yüzey kusurları (yüzey kalitesi için); (Örneğin Boyuna orta yüz çatlakları, Boyuna Köşe Çatlakları, salınım işaretleri, çapraz orta yüz çatlağı, enine köşe çatlağı, yüzey iğne (pim) delikleri, Kanama, çıkıntılı ve durma işaretleri)
- C. İç kusurlar (dahili kalite için). Enine ve boyuna kütük kesitlerin kükürt baskılarından keşfedilebilir, (örneğin inklüzyonlar, yüzey altı çatlakları (köşe dışı), diyagonal çatlaklar, yarı yol çatlakları, merkez hattı çatlakları, ayrışma, boru tesisatı ve gözeneklilik).

Sürekli döküm ürünündeki yüzey kusurları pahalı, zaman alan önleme tedbirleri yapılmazsa kütüklerin notunu düşürme veya kütükleri hurdaya ayırma gibi tehditler baş gösterebilir. Yenileme sahası genellikle yöntem içinde bir darboğazdır ve bu kusurların taşlama ile giderilmesine ilişkin fiyat da ayrıca yüksektir. Çatlaklar, sürekli döküm ürünü yüzeyinde bulunan değışken uzunluk ve derinlikteki açıklıklardır ve genellikle bir şerit üzerinde veya tüm sürekli döküm ürünü üzerinde uzanabilir. Çatlaklar her zaman düz değıldir. Genellikle bir zikzak benzeri yönelim sırasında kesintiye uğrarlar ve daha fazla devam ederler. Çatlaklar, oluştukları yöne göre boyuna, çapraz veya yıldız çatlaklar olarak ta adlandırılırlar. İç kusurlar, haddeleme süresince de kapanmaz ve çelik ürün içinde boşluklar bırakırsa önemli bir sorun olabilir. Kütük bir soğutma bölgesinden diğetine hareket ettiğinden, ısı transferindeki değışiklikler, hareket kabuğı boyunca termal gradyanlarda kaymalara ve diferansiyel genleşme veya büzülmeden kaynaklanan gerilme oluşumuna sebep olur [1].

Bu üç tür kusur oluşumuna göre üç ana neden: (1) Arızalı kalıp boruları, hatalı ikincil soğutma, hatalı düzleştirici ayarları gibi mekanik veya makine kurulum sorunları, (2) Sıvı çeliğin özellikleri ve normalde aşırı ısınma, iz element kontrolü, ikincil metalürji sırasında de-oksidasyon uygulaması sorunlarından kaynaklanır, (3) Sürekli dökümde ortaya çıkan bazı metalürjik ve mekanik sorunlardır.

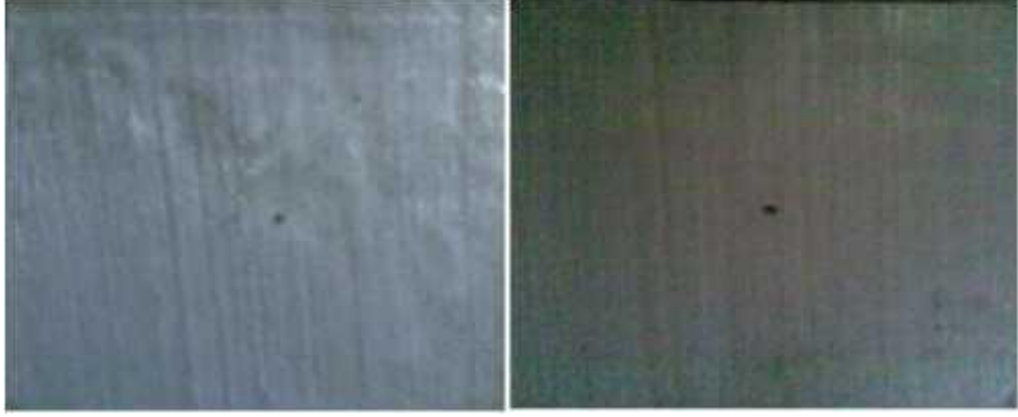
Yüzey hatası olarak pim delikleri ve bir iç kusur olarak üfleme delikleri, kütük / blum / kırı taşlak dökümde, özellikle ölçüm nozullu ve yağlamalı Si-Mn öldürülmüş çelik dökümde meydana gelir. Döküm parçada kusurlar, bol miktarda bulunurlarsa veya büyük bir boyuta sahiplerse, haddelenmiş ürünlerde kusurlar oluşturabilirler.

Ayrıca 2000 yılı boyunca, kütük döküm fabrikalarında çeşitli çalışma koşullarında üretilen çeşitli çelik sınıflarındaki kütükler, cüruf oluşumu ve sıkışması olarak sınıflandırılan bazı kusur sergilediği rapor edilmiştir [5]. Cüruf oluşumu ve sıkışma mekanizması, literatüre ve Fe-Si-Mn-O sisteminin termodinamik modeline dayalı olarak tartışılmalıdır. Metalografik çalışmanın bulgularına dayanarak, soğuk damlaların oluşumu ve hapsolme için bir mekanizma önerilmektedir. Kütüklerdeki bu tür kusurların sebebinin, sadece yalnızca cüruf sıkışması olmadığını, aynı zamanda soğuk damlalar ve gözeneklilik ile ilişkili olduğunu ortaya koyulmuştur.

## **2.1. PİM (İĞNE) DELİKLERİ**

Döküm tozu ve/veya yağ ile dökülen yarı-öldürülmüş çeliklerde iğne delikleri sıklıkla gözlemlenir. Küçük bir alanda önemli bir sayı varsa veya kütüğün derinliklerine nüfuz ederse nihai üründe kusurlar yer alabilir.

Şekil 2.1.'de sürekli dökümden sonra kütük yüzeyinde 50 mm' lik derin bir penetrasyon oluşturan ve her kütükte tekrarlanan pim deliklerini göstermektedir. İğne deliği, oksit tabakanın gelişmesi ve belirli derecede karbonsuzlaşma nedeniyle karakteristik bir görünüme sahiptir [4].

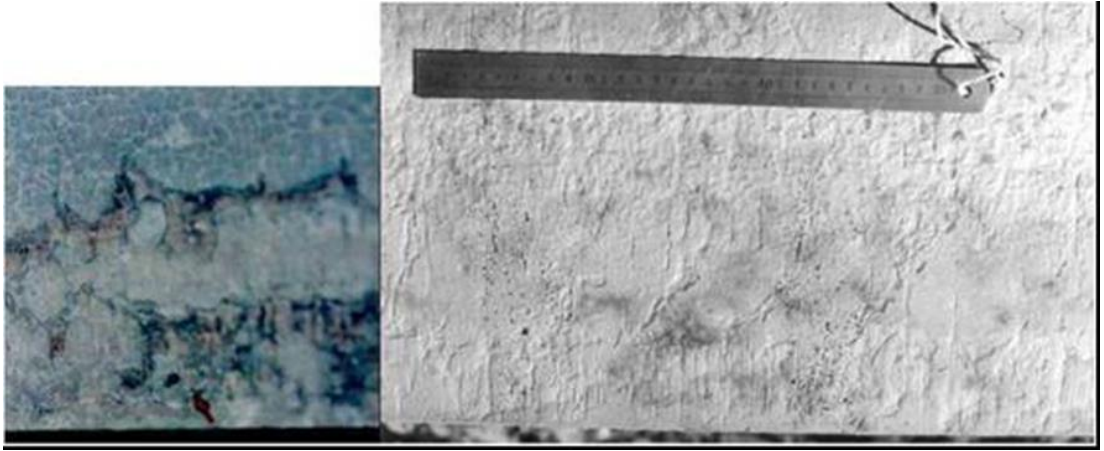


(a)

(b)

Şekil 2.1. Döküm tozu ile dökülmüş bir kütüğün yüzeyindeki pim deliklerinin (a) Büyüteçle ve (b) çıplak gözle görünüşü [4].

Pim delikleri, döküm yüzeyinde çıplak gözle görülebilirler, ancak kütük yüzeyi kumlama veya kumlama yoluyla tufalden temizlendiğinde bu kusurun çok daha iyi bir görüntüsü elde edilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yağ ile dökülmüş düşük karbonlu çelik kütüğün yüzeyindeki iğne deliklerinin görünümü. Kütük boyunca çapraz olarak dağılım. Sol: döküm olarak ve Sağda: kumlamadan sonra yüzeyi [2,3].

Burada, belirli bir mesafedeki çapraz olarak bir iğne deliği oluşum modeli belirginleşir. Şekil 2.2’de iğne delikleri, kütük boyunca her 10 cm’de bir tekrar eden tüm yüzlerde bir iğne deliği kuşağı oluşturan enine bulutlar olarak dağılır. Salınım izleri sadece kütük köşesine yakın kısımda görülmektedir. Kütük yüzeyindeki iğne deliklerinin dağılımı, oluşumuna neden olan olguya bağlıdır. Şekil 2.2.’de, kütüğün etrafındaki enine konumlanmış birkaç cm ile ayrılmış iğne delikleri meydana gelirken,

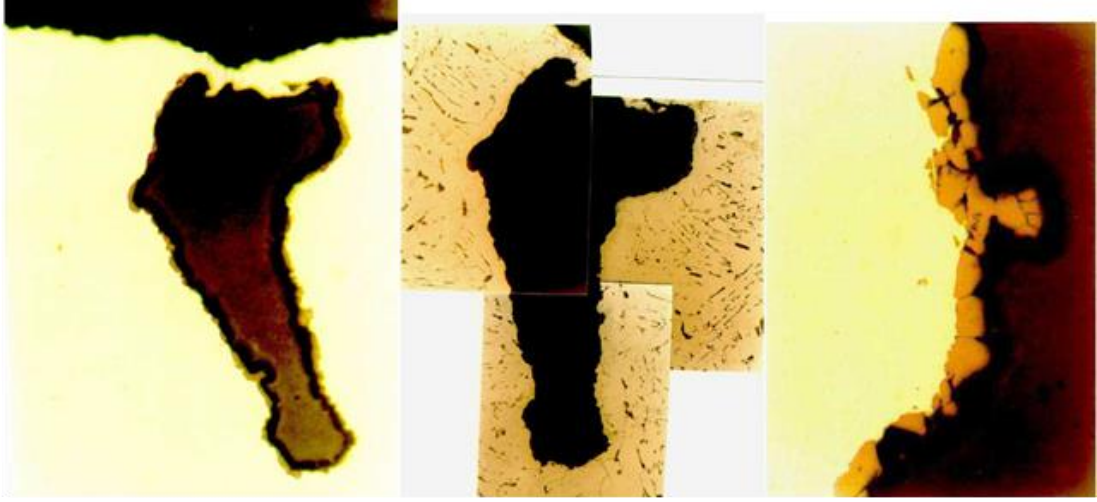
Şekil 2.3.'de model farklıdır: İğne delikleri, bir kütük yüzünün merkezi boyunca uzunlamasına yerleştirilirken, köşeye daha yakın yüzey biraz gösterir, sürtünme ile ilgili kusurlar [2].



Şekil 2.3. Kum püskürtme sonrası düşük karbonlu çelik kütük yüzeyi [2].

Işık mikroskobu altında, iğne delikleri karakteristik bir görünüme sahiptir ve kusurun etrafındaki metal matriste oksit tabakasının gelişimini ve belirli bir derecede karbonsuzlaşmayı gösterir (Şekil 2.4.). Bu, hava delikleri (pimholes) ile önemli bir farktır. Genellikle tufal tabakası haddelemesi sırasında kusurun kaynaklanmasını engeller.

İğne delikleri, yüzeyin ortasında uzunlamasına bir şekilde ortaya çıkabilir. Salınım işaretleri eğimlidir ve köşelerden birinin yakınında sürtünmeye bağlı bazı kusurlar görülmektedir. Kütük yüzeyine dik bir metalografik inceleme yaparak iğne deliğinin çapı ve derinliği gözlemlenebilir (Şekil 2.4.). Tipik olarak, iğne çapı yüzeye doğru daha büyüktür.



Şekil 2.4. Düşük karbonlu parlatılmış/dağlanmış çelik kütükteki iğne deliğinin ışık mikroskobu altında görünümü (kütük yüzeyine dik gözlem). Sol: parlatılmış olarak.

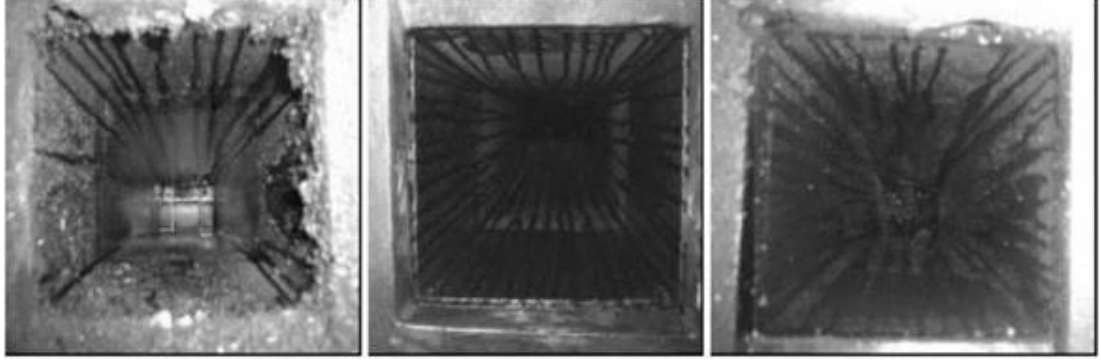
Düşük karbonlu çeliğin yumuşaklığından dolayı parlatma sırasında bir çapak oluşmuştur. Merkez: nital dağlamadan sonraki metalografik yapı: ferrit ve perlit fazları ile iğne deliği çevresinde bir miktar dekarbürizasyon gözlenir. Sağda: İğne deliği iç yüzeyindeki oksit tabakasının detayı [2,3].

Pim deliklerinin oluşumu, yağlama yağının piroliziyle gaz oluşumu ve çelikte çözülmüş oksijenin varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Sürtünme yüzey kusurları yağ oranına (belirli bir aralıkta) çok duyarlı değildir. İğne deliği oluşmasını önlemek için daha düşük yağ oranı aralığında çalışmak güvenli olacaktır. Pratikte yağ oranı için 20 ila 30 ml/dk yaygın bir prosesdir [2 ].

Çoğu zaman sorun, yalnızca belirli bir zamanda aşırı yağ oranı değil, aynı zamanda yağın kütük bölümü çevresinde homojen olmayan bir şekilde dağılmasıdır. Bu durum, çoğunlukla aşınmış kalıplar (yani yıpranmış döküm makineleri) için gözlemlenmiştir [2].

Yağ dağılımındaki bir diğer önemli faktör ise yağlama oluk boşluğu aralığıdır. Daha iyi homojenlik sağlamak için maksimum 1 mm olması önerilir. Döküm sırasında meydana gelen püskürme, sıra boyunca yağlama oluk boşluğu aralığı kısmen kapatılabilir. Şekil 2.5'de belirli bir kalıpta yağlama yuvası açma düzeltmelerinden

önce ve sonra ve bir sıra (çalışma ömrü) sonrasında yağ dağılımındaki fark görülmektedir.



Şekil 2.5. Kalıptaki yağ dağılımı. Sol: değişikliklerden önce. Merkez: değişikliklerden sonra (çalışma ömründen önce). Sağda: Çalışma ömründen sonra [2].

Oksijenin ve çelikte çözülmüş diğer gazların etkisiyle ilgili olarak, genellikle düşük karbonlu çelik kütüklerin yanı sıra tandış dolumu sırasında yeniden oksidasyona ve hidrojen alımına tabi tutulan bir döküm dizisinin ilk kütükleri daha fazla etkilenir. Yağdaki nem veya yağ devresinde toplanan nem, uzun süredir bir faktör olarak kabul edilmektedir. Menisküs (Kalıp içindeki sıvı çeliğin olması gereken optimum seviye) seviyesindeki ani değişiklik, bir başka iğne deliği nedenidir.

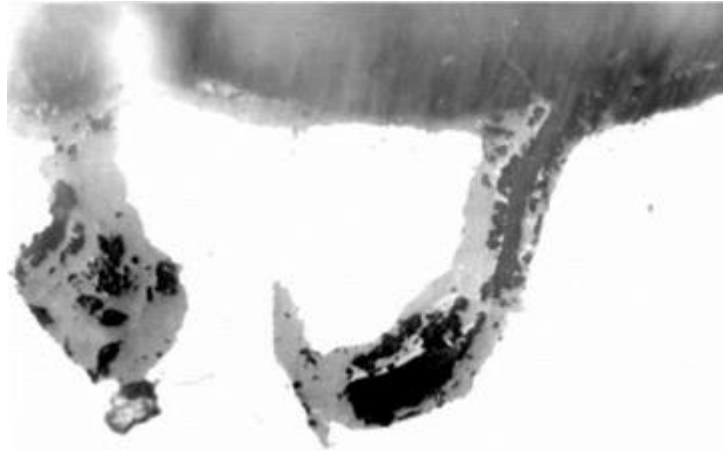
Yeniden ısıtma sırasında, kireç oluşumunun bir etkisi olarak iğne deliklerinin kaybolup kaybolmadığı veya daha da derinleşip gelişip gelişmediği konusunda bazı araştırmalar vardır. Çoğu iğne deliği, oksit tabası oluşumu nedeniyle yeniden ısıtma ve haddelenme sonrasında kaybolur. Ancak, herhangi bir nedenle kütük haddelenmediğinde, yeniden ısıtmadan sonra kütük üzerinde çıplak gözle daha derin delikler gözlemlenir (Şekil 2.6.) [2,3].





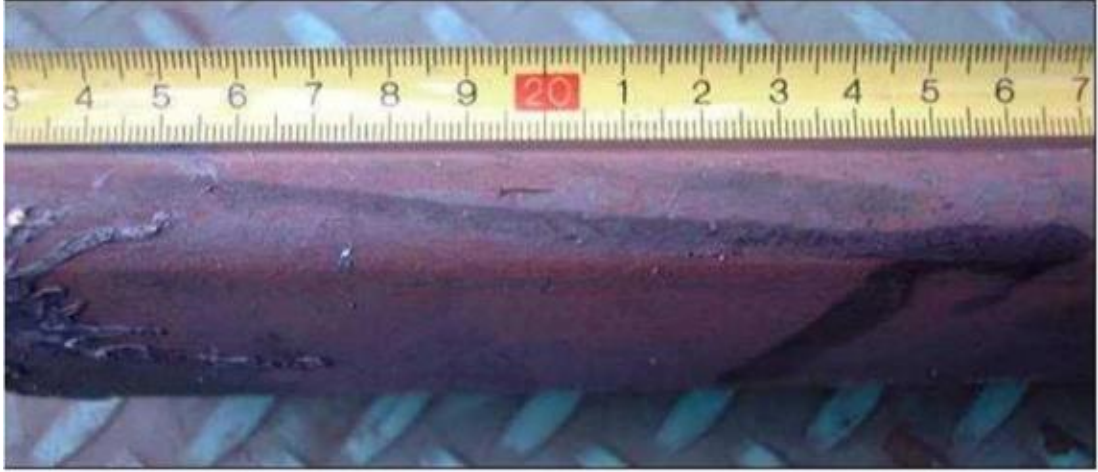
Şekil 2.6. Yeniden ısıtılmış ve haddelenmemiş 150 x 150 mm orta karbon kütüğün yüzeyinde kalan iğne deliklerinin görünümü [2,3].

Dökülmüş kütükten (Şekil 2'de) farklı olarak, yeniden ısıtmadan sonra pim deliğinin kaybolmadığının metalografik kanıtı Şekil 2.7.' de verilmiştir. Yuvarlama sırasında pim delikleri uzar. Uzamaya bağlı olarak nihai ürün üzerinde çıplak gözle görülebilirler veya fiilen yok olurlar. Oksit tabakası boşluğu neredeyse tamamen dolduruyor.



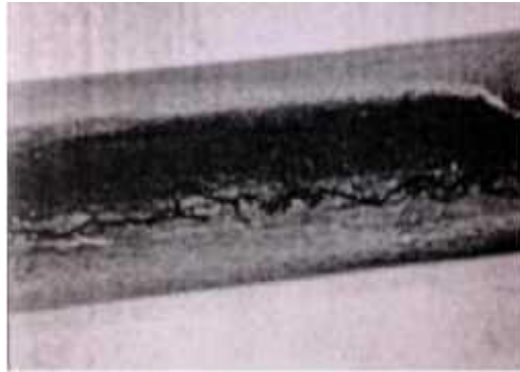
Şekil 2.7. Kütüğün yeniden ısıtılmasından sonra kütük yüzeyine dik parlatılmış bir kesimindeki iğne deliklerinin görünüşü (yeniden ısıtmadan önceki Şekil 2.2. ile karşılaştırılır. Işık mikroskobu, dağlama yok). [2,3].

Haddeleme sonrasında kalan iğne delikleri, deformasyon yönünde uzar (Şekil 2.8.). Deformasyon oranına ve belirli özelliklere bağlı olarak, üründe boylamasına küçük bir kusur olarak görünürler veya en azından çıplak gözle bakıldığında sonunda kaybolurlar. Şekil 2.8.' de, uzatılmış bir iğne deliğinin görünümü, bir son üründe sunulmaktadır.



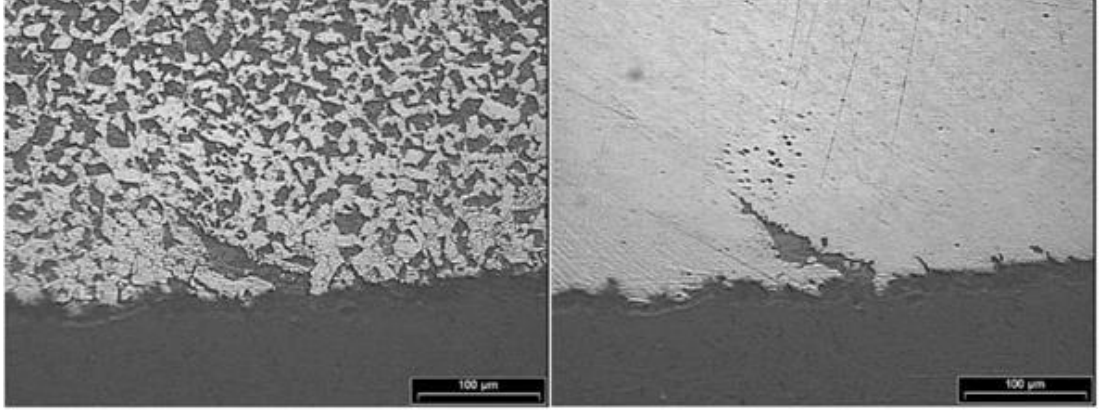
Şekil 2.8. Haddeleme sonrasında orta karbonlu düz çubuk ucundaki uzun bir iğne deliğinin görünümü [2].

Dekate ve diğerleri [4] derin iğne deliğine sahip kütükten haddeleme sonrasında üretilmiş çubuğu incelemişler ve Şekil 2.9. çubuktaki kusuru göstermektedir. Kütüğün yüzeyindeki iğne deliklerinin çoğu yeniden ısıtma sırasında oksit tabakası oluşumu nedeniyle kaybolur, ancak daha derin iğne delikleri tavlama sonrasında hala kütük üzerinde çıplak gözle gözlenir, kütüğün haddelenmesini zorlaştırır.

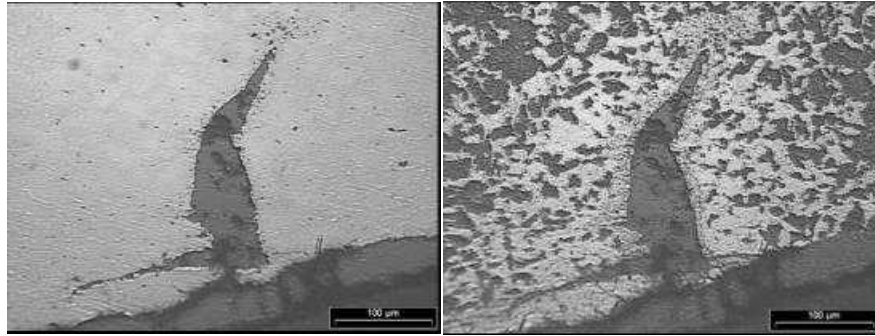


Şekil 2.9. Derin pim deliğine sahip kütüğün haddelenmesi ile üretilmiş çubukta kusur [4].

Enine parlatılmış nihai çubuk veya filmaşın üründe haddelemeden sonra iğne deliğinin metalografik yönü birçok varyasyona sahiptir (Şekil 2.10 ve 2.11). İğne delikleri genellikle yüzeye yakın kısımlar iç kısımlardan daha incedir (Şekil 2.11). Diğer olağan özellikler, karbondan arındırılmış ve iç oksidasyon bölgesinin mevcut olmasıdır.



Şekil 2.10. Enine bir inşaat demiri kesimindeki eski bir iğne deliğinin metalografik görünümü. Sol: Nital ile dağlanmış ve Sağ: parlatılmış görünüm [2].



Şekil 2.11. İnşaat demirinde iğne deliği ile ilgili bir kusurun ışık mikroskobundaki görünüşü. İç kısımdaki kalınlık yüzeydekinden daha büyüktür. Sol: Dağlama yok; İç oksidasyon yapısı görülür. Sağ: %2 Nital; Güçlü dekarbürilasyon mevcuttur [3].

Pim deliği kusurlarının oluşum kaynağı genellikle yağ pirolizine ve ikinci olarak çözülmüş gazlara kadar izlendiğinden, alınan karşı önlemler genellikle bu iki faktörle ilgilidir. İğne deliklerinin oluşumu çoğunlukla döküm sırasında yağın ayrışmasından kaynaklanan gazların çıkışıyla ilgilidir ve sıvı çelikteki yüksek oksijen aktivitesi ile arttırılabilir. Yağlama sisteminin otomasyonu, esterlerle modifiye edilmiş bitkisel yağlara geçiş, yağ alımından kalıba girişine kadar yağlama devresinin uygun şekilde bakımı birinci faktöre yani iğne deliğinin yağlamadan kaynaklandığına işaret eder.

Yağlama hızı için normal rakamlar, yağ özelliklerine, kütük boyutuna ve döküm hızına bağlı olarak 20 İla 30 ml/dk'dır [3]. İğne deliği oluşumunu en aza İndirmek İçin, yalnızca yağlama oranının normal aralıkta olup olmadığını kontrol etmek değil, aynı zamanda enine kesitteki yağ dağılımının homojen olup olmadığını doğrulamak da önemlidir.

Şekil 2.5.' de verilen yağlama sisteminde ince yuvalar ve köşelerde aşırı yağlamayı önlemek için bir conta kullanılması iyi yağ dağılımı sağlar [3]. Bazen homojensizlikler o kadar fazladır ki, bazı yüz veya bölgelerde iğne delikleri görülür ve aynı zamanda başka bir yüz veya bölgede yağ eksikliğini ortaya çıkaran çift etki görülür.

Kütükte iğne delikleri varsa, uzun kalma süresi ve yeniden ısıtma sırasındaki yüksek sıcaklık nihai üründeki sorunu daha da kötüleştirebilir. Dengesiz dağılım, aşırı yağlanmış yüzlerde ve aynı zamanda çift cidarlı yetersiz yağlanmış yüzlerde iğne deliklerine yol açar [2]. Kalıp elektromanyetik karıştırma ile donatılmış kalıplarda (döküm makinelerinde) iyileşme gözlemlenmiştir.

Bazı durumlarda iğne deliklerinin oluşumu çoğunlukla, döküm sırasında döküm tozunun ayrışmasından kaynaklanan gazların çıkışıyla ilgilidir ve sıvı çelikteki yüksek oksijen aktivitesi ile arttırılabilir. Toz özelliklerine, kütük boyutuna ve döküm hızına bağlı olarak yağlama oranı için normal rakamlar 20 İla 30 gm/ dak'dır. İğne deliği oluşumunu en aza İndirmek için, yalnızca yağlama oranının normal aralıkta olup olmadığını kontrol etmek değil, enine kesitte pim delikleri dağılımı homojen İse aynı zamanda tozun olup olmadığını da doğrulamak önemlidir. Döküm tozunun iyi dağılması ve köşelerde aşırı yağlamanın önlenmesi çok önemlidir.

Oksidan gidericilerin eklenmesi (titanyum ilavesi veya kalıba alüminyum enjeksiyonu gibi) pim deliklerinin oluşumunun ikinci faktörüdür. Oksidan giderici eklerin maliyeti ve zararlı yan etkileri olabilir (alüminyum enjeksiyon için cüruf oluşumu ve kırılmalar) [2]. Pota örtüsü ve gazlı tandiş akıntısı koruması kullanılarak yeniden oksitlenmenin önlenmesi maliyeti artırır, ancak yalnızca kalite açısından değil, aynı zamanda güvenlik ve çalışma ortamı açısından da başka yararları vardır [2]. Örnek olarak, Madias ve arkadaşları [2] tandiş yüksekliğini azaltarak (daha kısa tandiştten kalıp

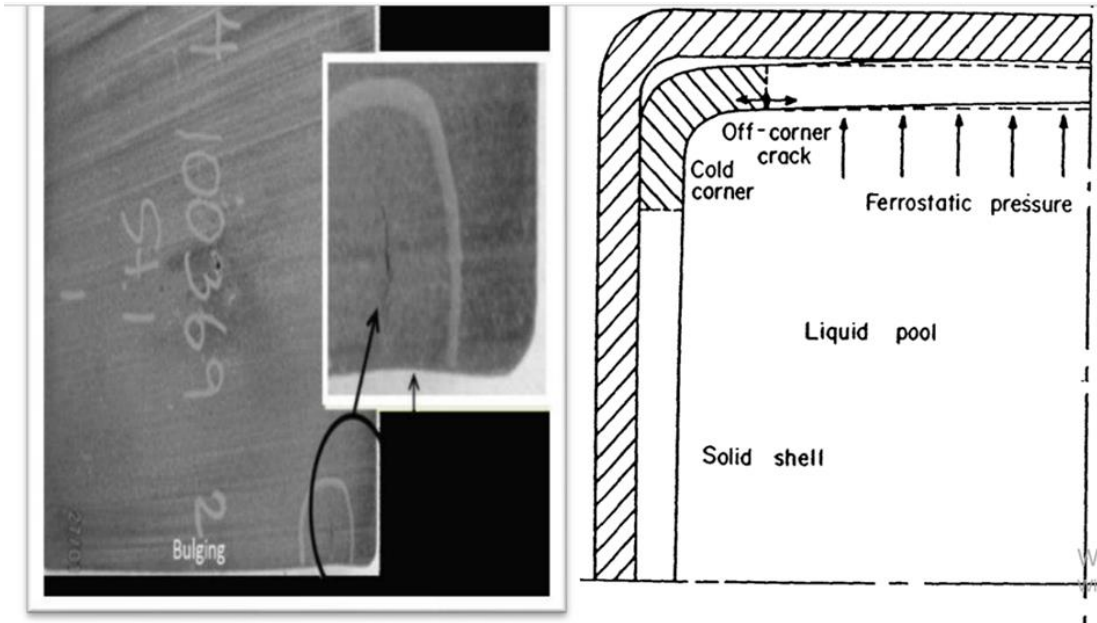
akışına), pota örtüsü tipini değiştirerek ve yağlama sisteminin otomasyonunu sağlayarak iğne deliği oluşturmadan iyileştirmeler sağlamışlardır [2].

## 2.2. MAKRO SEGREGASYON

Kütüğün belirli bölgelerinde belirli elementlerin daha yüksek konsantrasyonları vardır ve bu da haddeleme boyunca çatlaklara neden olur. Kalıp içinde homojen olmayan soğuma nedeniyle istenilen şekilden sapmalar aşırı yeniden çalışma gerektirir. Sürekli dökümde birçok kusur çeşidi meydana gelse de burada belirtilen kusurlar sıklıkla meydana gelen iç kusurdur [1].

## 2.3. KAPALI KÖŞE ÇATLAĞI

Bunlar, dökme çelik ürünün kenarında bulunan ve kütük yüzü boyunca şişkinliğin eşlik ettiği çatlaklardır [1]. Bunlar, sıvı çelik içindeki yüksek sıcaklık değişimlerinden, çeliğin sıcak mukavemetini azaltan ayırıcı (segrega olan) elemanlardan, uniform (düzgün) olmayan kenar sıcaklığından, döküm tozunun düzgün olmayan dağılımından, çeliğin aşırı ısınması ve şişkinlik nedeniyle döküm sırasında kenarlarda aşırı sürtünmeden kaynaklanıyor gibi görünmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Çöküntü ile köşe dışı çatlak

Elsaiedy ve AbouOmar [1], kalıp suyu akışının azaltılması ile üniform kabuk temasının artırıldığını, daha düşük viskoziteli döküm tozunun azaltılması ile de kalıptaki ısı transferinin artırıldığını ve hava boşluğu oluşma olasılığının azaltıldığını rapor etmişlerdir. Böylece bu önlemlerin, boşluk oluşmadan ayak silindiri hizalamalarını ayarlayarak şişkinliği ve köşe dışı çatlağını artırmadan döküm hızı ve üretkenlik artışına izin verdiğini bulmuşlardır [1].

Yağlamanın, döküm hızının, kalıp suyu akış hızlarının ve ayak silindiri boşluklarının alt yüzey köşe çatlaklarının oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kütüğün şişmesini en aza indirmek için alınan önlemlerin, sorunun boyutunu azaltmaya yardımcı olacağı varsayılmıştır. Düzgün kabuk temasını ve dolayısıyla kalıptaki ısı tahliyesini artırmak için kalıp su akışını 1900 lpm'ye kadar azaltılmıştır. Daha düşük viskoziteli döküm tozu, iletkenliği düşük hava boşluğu oluşma olasılığını azaltarak kalıptaki ısı transferini artırmıştır. Daha yüksek döküm hızlarında daha yüksek ısı akışı elde edilebilir. "Boşluk yok" koşuluyla hizalanan ayak silindirleri, şişkinlikte artış olmadan döküm hızında ve üretkenlikte önemli artış sağlamıştır.

#### **2.4. YILDIZ ÇATLAKLARI**

Bu çatlaklar çok incedir ve kütüğün yüksek sıcaklıklardaki kırılğan yapısından kaynaklanır. Sadece ölçeksiz serbest yüzeyde görünürler. Yüzey kusurunu gidermek için genellikle yerel olarak taşlanır. Yoğun yerel soğuma ve östenitik tane sınırında bakır bulunması yıldız çatlaklarına neden olur. Dökme üründe yıldız çatlaklarından kaçınmak için (I) püskürtme akışı ile döküm hızı arasında doğru korelasyona, (II) kütük ile kalıp arasında tekdüze bir erimiş döküm tozu tabakasına, (III) termal gerilmenin artmasından kaçınmak için kütüğün orta derecede ikincil soğutulmasına sahip olunması gerekir [1].

#### **2.5. ENİNE ÇATLAKLAR**

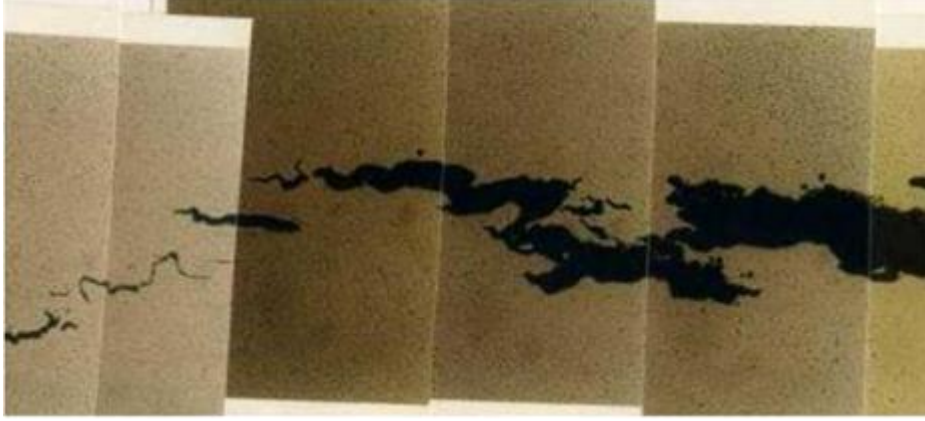
Enine çatlaklar, kütüklerin muayenesinde her zaman tespit edilmese de haddelenmiş üründe ciddi kusurlara yol açar. Bu çatlaklar tipik olarak ürünün uzunlamasına yönündeki gerilimler nedeniyle görünür. Genellikle enine çatlaklar, derin olmamaları

koşuluyla izin verilen öngörülen sınırlar içinde kütük taşlanarak giderilir. Enine çatlaklar (I) termal gerilimler, (II) menisküs seviyesi varyasyonundaki varyasyon, (III) salınım işaretinin altında segregasyon varlığı ve (IV) kalıp içindeki kütüğün sürtünmesi nedeniyle görünür [1]. Düşük karbonlu çelik kütükler yağla yağlama ile döküldüğünde yaygın olarak karşılaşılan iki kusur ile karşılaşılır. Bunlar enine çatlaklar ve iğne delikleridir.

Şekil 2.13, kum püskürtülmüş bir kütükteki enine bir çatlağın görünüşünü göstermektedir [3]. Şekil 2.14, ışık mikroskobunda parlatılmış bir numune üzerindeki enine çatlağın bir detayını göstermektedir. Yüzeğe yakın çatlak, yüksek sıcaklıkta, muhtemelen kalıpta oluşmuş gibi görünür. Ancak çatlağın daha derin kısmı taneler arası bir görünüme sahiptir, bu nedenle muhtemelen güçlendirme sırasında eski sıcak çatlağın yayılmasıyla soğuk şekillendirilmiştir [3].

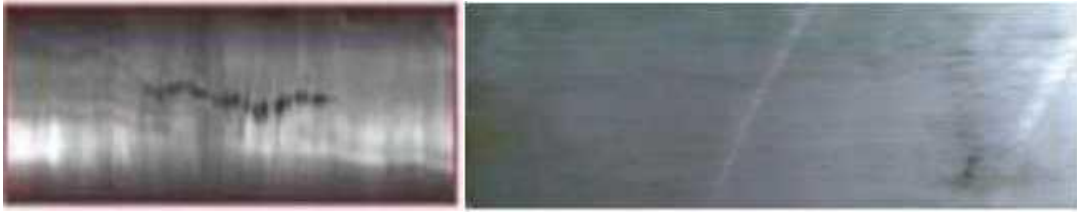


Şekil 2.13. Kum püskürtülmüş kütük üzerindeki enine çatlağın görünümü [3].



Şekil 2.14. Oberhoffer dağlamasının ardından ışık mikroskobundaki enine çatlakın detayı [3].

Şekil 2.15, sürekli döküm kütüklerdeki yüzeye yakın HCl dağlanmasıyla enine çatlakların görünüşünü göstermektedir. Burada çatlaklar yüksek sıcaklıkta, muhtemelen kalıpta oluşmuş gibi görünmektedir.



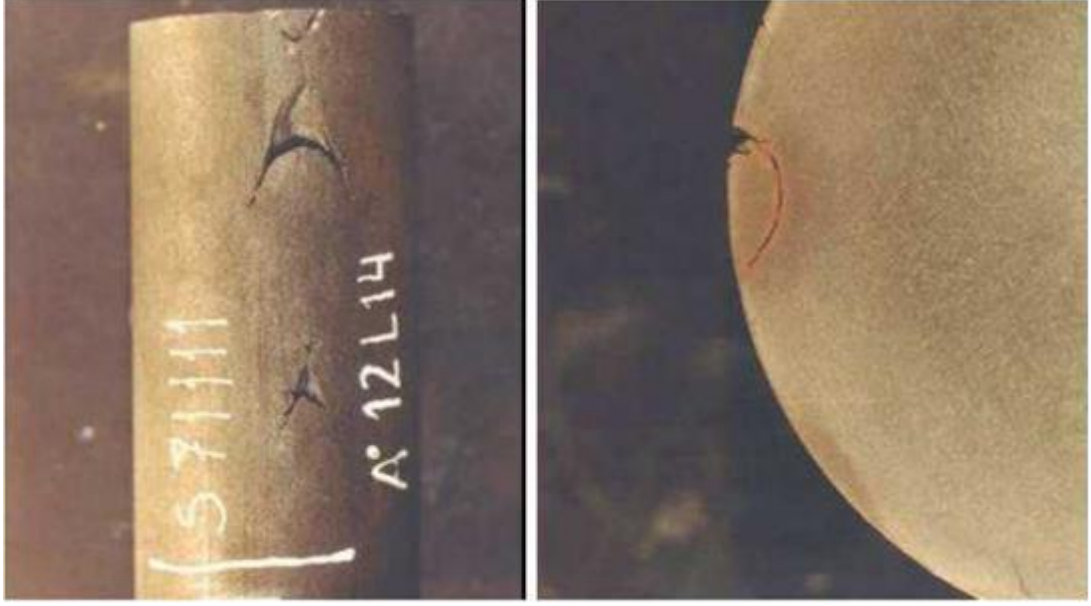
(a)

(b)

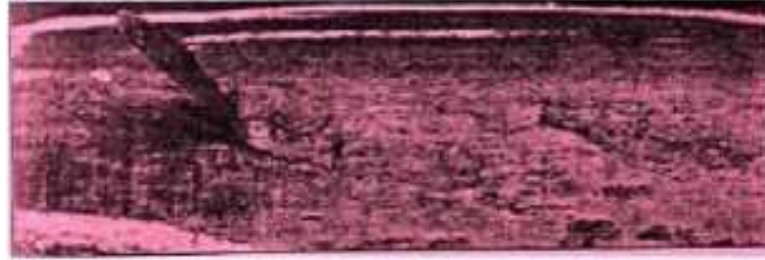
Şekil 2.15. HCl ile dağlamadan sonra (a) büyüteçle ve (b) çıplak gözle gözlemlenen enine çatlaklar [4].

Kütükte bulunan enine çatlaklar haddeleme sonrasındaki yerini V kusurlarına bırakmıştır (Şekil 2.16, sol). Enine bir kesimde yön değişikliği gösterirler (Şekil 2.16, sağ). Döküm tozu ile dökülmüş kütüklerdeki enine çatlaklar, haddeleme sonrasında yerini Şekil 2.17 de gösterilen V kusurlarına bırakmıştır.





Şekil 2.16. Haddelme sonrasında V kusuru oluşturan enine bir çatlağın gelişimi. Sol: düşük karbon çubuğunun görünümü. Sağda: Dağlama işleminden sonra aynı çubuğun enine çatlağı [3].



Şekil 2.17. Döküm tozu ile üretilmiş kütükteki enine çatlakların haddelme sonrasında V kusuru olarak gelişimi [4].

Kalıpta veya güçlendirme sırasında enine çatlaklar oluşabilir. Çatlaklar herhangi bir köşede bulduklarında, yapışmaya bağlı çekme kuvveti nedeniyle oluşmuş olmaları muhtemeldir [3,4]. Bu, derin salınım izleri ile daha da kötüleşebilir. Çatlaklar sadece iç yarıçapa ait köşede bulunduğu, güçlendirme sırasındaki çekme kuvvetleri ile oluşabilirler. Bu, köşe sıcaklığı düşük süneklik aralığında olduğunda yaygındır [3,4]. Sorunu çözmek için sağlam bir yaklaşım, döküm makinesinde geçerli olan koşullara karşılık gelen çelik kalitesinin süneklik eğrisini belirlemektir. IAS' de bu, sıcak burulma test makinesinin yardımıyla yapılır. Ardından, sıcaklık ölçümleriyle veya doğrulanmış bir katılma-ısı transferi modeli kullanılarak köşelerdeki tehlikeli sıcaklık aralığını önlemek için güçlendirme sırasında ikincil soğutma ayarlanabilir. Sonuç olarak sorunu çözmek için sağlam bir yaklaşım, güçlendirme sırasında

köşelerde tehlikeli sıcaklık aralığından kaçınmak için uygun ikincil soğutmayı ayarlamaktır [3,4].

## 2.6. ÇAPRAZ ÇATLAK (RHOMBOİD ŞEKİL-KÖŞE ÇATLAKLARI İLE BAĞLANTILI DİYAGONAL ÇATLAKLAR)

Genel olarak, büyük kesitler yerine küçük kesitli kütük döküldüğünde eşkenar dörtgenliğin bozulması meydana gelir. Bu durum, daha önce de belirtildiği gibi eşkenar dörtgen boyuna köşe çatlaklarına neden olur. Genellikle kütüğün geniş köşelerinde bulunurlar ve bazen tüm kütük içinden geçerler. En kötü durumlarda, kütükler genellikle eşkenar dörtgen ile ilgili olan çapraz çatlaklara sahip olur. Şekil 2.18.' de sıklıkla görüldüğü gibi, diyagonal çatlaklar tipik olarak eşkenar dörtgen bölümün geniş köşeleri arasında uzanır [1].



Şekil 2.18. Diyagonal Çatlak

## 2.7. MERKEZ HATTI ÇATLAĞI

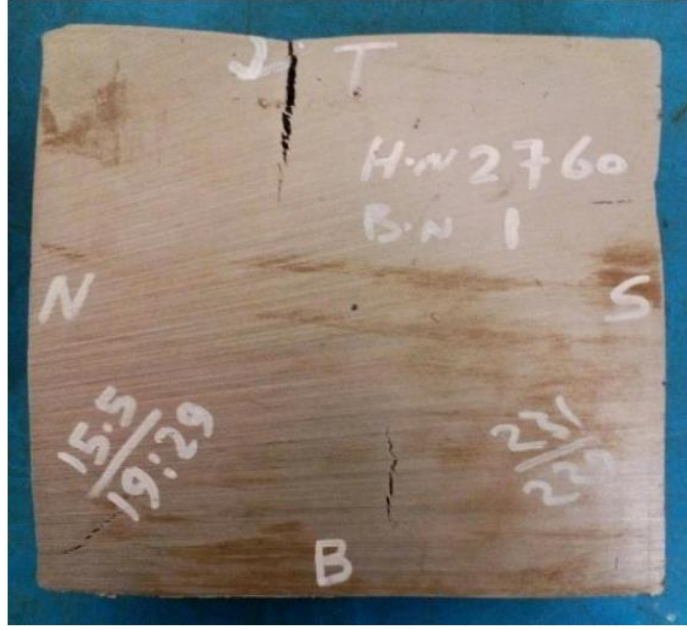
Merkez çizgisi çatlakları, bir döküm kesitin çekirdek bölgesi içinde görünür ve katılaşmanın sonuna doğru oluşur. Katılaşmanın tamamlanmasında merkez hattı sıcaklığındaki hızlı düşüş, çatlama gerilimini oluşturur. Bu, merkez hattı sıcaklığındaki hızlı düşüş, herhangi bir dökümde, çekirdek bölgesinden gizli ısının son izi çıkarıldığında meydana gelen doğal bir olgu olabilir. Merkez hat sıcaklığındaki düşüş, yüzey sıcaklığındaki düşüşten çok daha hızlıdır ve bunun sonucunda merkez bölge büzülür. Şiddetli ikincil soğutmanın bu çatlakların oluşumuna katkıda bulunabileceği planlanmıştır. Spreyin düzeni nedeniyle bu mümkün olabilir; ikincil soğutmanın altındaki yüzeyin önemli ölçüde yeniden ısıtılması, sıvı havuzunun tabanıyla eşleşir. Genellikle, WSU alanı içinde maksimum yeniden ısıtmaya sahip olmaktan kaçınılmalıdır. Yeniden ısıtma sıcaklığının kabul edilebilir değeri maksimum 120-130°C olmalıdır [1].

## 2.8. KISTIRMA RULOSU ÇATLAĞI

Sıvı çekirdeğe sahip bir bölümde düzleştirme veya bükme yapıldığında veya merkez katı olduğunda, ancak 1340°C'nin üzerinde çatlaklar oluşabilir. Doğrultma çatlakları, çekme eksenine dik olarak yukarıda görünür. Bükülen çatlaklar çekme ekseninin altında görünürken Boyuna bir kesit boyunca bakıldığında, bu çatlaklara açıkça sıvı doğrultma ile neden olunur. Doğrultma-bükülme çatlakları gibi, kıştırma silindiri çatlakları, katılaşmanın tamamlanmadığı anda kütük üzerine aşırı bir silindir basıncı uygulanırsa oluşabilir. Merkez hat sıcaklığı 1340°C'nin üzerindedir [1].

## 2.9. YARI YOL ÇATLAĞI

Yarı yol çatlağı (Yarım Yol Çatlakları), radyal çizgi veya hayalet çizgiler, kükürt baskıda ve enine kesitin makro gravürlerinde tespit edilebilir. Yüzey ve merkez çizgisinin kabaca ortasındaki bir bölgede belirli bir yüzeye normal (dik) olarak uzanan koyu çizgi olarak görünürler. Genel olarak bilindiği gibi, lapa içindeki malzeme özellikleri (katılaşmadan hemen sonra) çok düşük mukavemet (yaklaşık 1-2 N/mm<sup>2</sup>) ile karakterize edilir ve sıfır kesit azalması yüksek kırılma gösterir (Şekil 2.19) [1].



Şekil 2.19. Yarı Yol Çatlağı

## 2.10. ÜFLEME DELİKLERİ (ALT YÜZEY ÜFLEME DELİKLERİ)

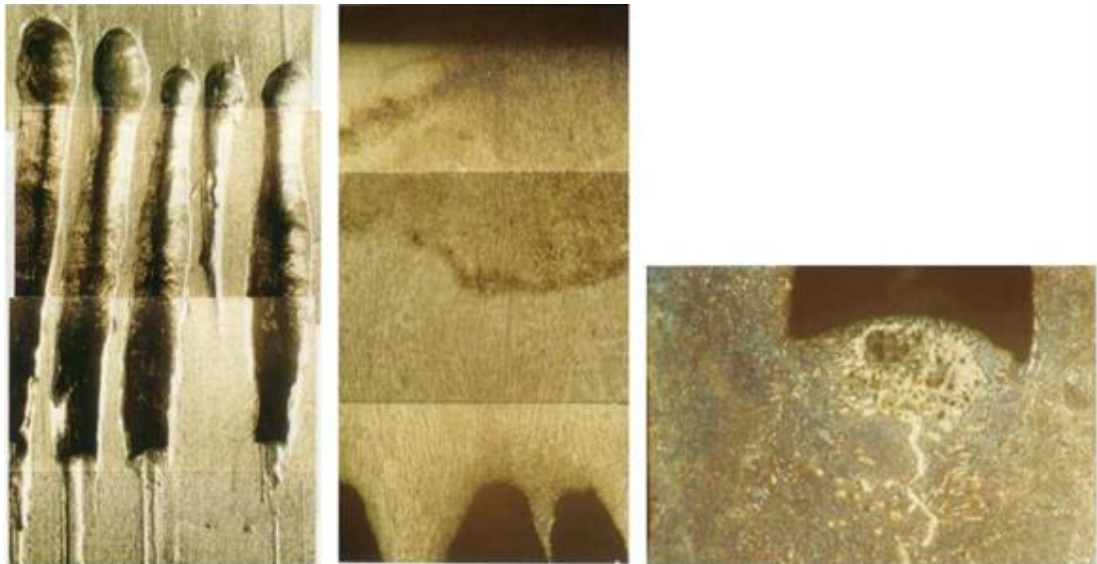
Sürekli döküm çeliklerinde üzerlerinde en fazla durulan kusurlardan biri, yüzey altı pim delikleri veya üfleme delikleri (blow holes) dir. Çelik içinde hava deliklerinin oluşması, evrensel olarak çözünmüş gazlardan (oksijen, nitrojen, karbon mono kimyasal bileşik ve/veya kimyasal element, bir balon oluşturmak için yeterli) çok daha fazlasına atfedilmiştir. Kütük kabuğun altında bir yerde, ferostatik basınç yükseldiğinde, çözünmüş gazların kısmi basıncı artar ve sonuçta üfleme deliği oluşur [1]. Bu yöntem, ilk kütük döküm geliştirildiği zamanlarından itibaren şekillendi ve olayın anlaşılmasına bir temel sağlamıştır. H, N ve CO [1] gibi yüksek düzeyde köpüklü bileşenler karışarak belirli düzeyde basınç artışına izin verebilir ve bu da delinmeye neden olur. Erimiş çelik içinde bu gazların şu şekillerde bulunması [1];

- Tandış astarının kalitesi (ıslak tandiş); döküm boyunca ıslak tandiş ile reaksiyon, erimiş çelik içindeki kimyasal elementi ve element içeriğini artırır.
- Karıştırma Gazı – N ile uzun süre LMF karıştırmak, çözünmüş N içeriğinde patlayıcı ve hızlı bir artışa neden olur.
- Yeniden oksidasyon – O, N, düzensiz pislik kapsamından dolayı pota veya tandiş de erimiş çeliğe havadan da emilebilir.

Tipik olarak, hava delikleri, Şekil 2.20.'deki gibi dikey bir yönde, kütük kabuğuna nispeten yakın yerleştirilir. Oksijen ile kesimde bile görülebilirler (Şekil 2.21). Metalografik gözlem, hava deliklerinin interdendritik bölgelerde başladığını ve uçlarında ferrostatik basınçla kapatıldıklarına dair kanıtlar olduğunu göstermektedir (Şekil 2.22). Gözenegin ucunda ayrışmanın (inklüzyonun) varlığı, örneğin Oberhofer dağılayıcı (Şekil 2.21) ile metalografik olarak ortaya çıkarılmıştır [1,2].

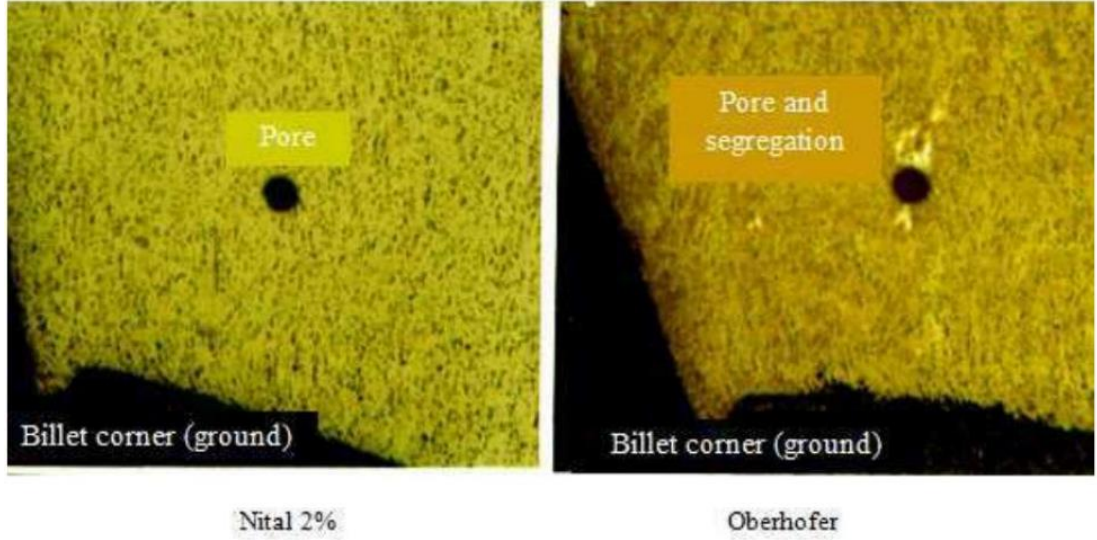


Şekil 2.20. Sol: Hava delikli bir karbon çelik kütüğün sulu kesme diskisi ile kesimi [1,2]. Sağda: Hava delikleri olan bir karbon çelik kütüğün oksijenle kesilmesi.



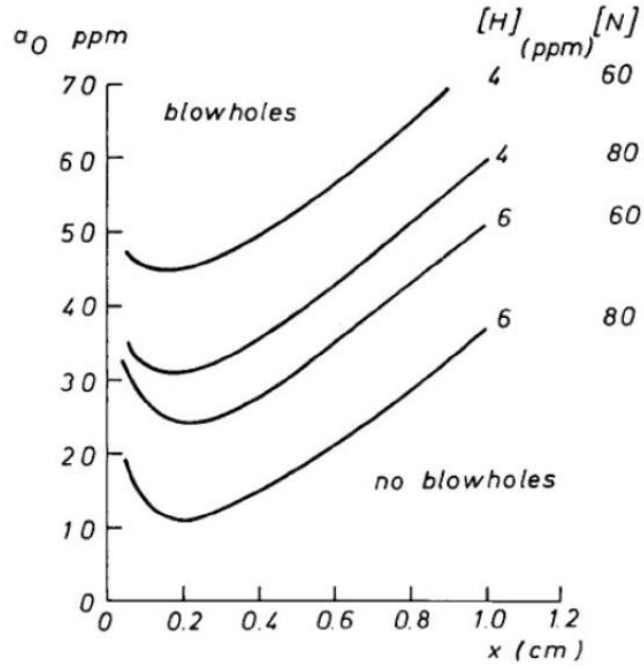
Şekil 2.21. Sol: Şekil 11'deki hava deliklerinin detayı. Merkez: Yüzeiden hava deliklerinin ilk oluşumuna kadar kütüğün yapısı. Oberhofer dağılayıcı. Sağda: Hava deliğinin alt kısmındaki yapı, ferrostatik basıncın kapatma etkisini ve hava deliğinin altındaki ayrılmış bölgeyi gösteriyor [2].

Hava delikleri ile interdendritik boşluklardaki ayrışmanın birlikteliği, Şekil 2.22'teki gibi daha küçük hava deliklerinde de görülebilir. Bu durumda, küçük gözenek, çelik kütüğün köşesine yakın gözlenmiştir. Nital dağlama ile inklüzyon göz ardı edilirken (Şekil 2.21, sol), Oberhofer dağlama ile ayrışmış alan, katılma yönü ile hizalanmış olarak ortaya çıkmıştır. Hava delikleri içindeki gazı analiz etmek için çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak, China Steel araştırmacıları hava deliği içindeki gazın analizini yapmışlar ve %90,7 H<sub>2</sub>, %8,9 CH<sub>4</sub>; %0,4 CO<sub>2</sub> ve %0,2 CO karışımından oluştuğunu rapor etmişlerdir [2].



Şekil 2.22. Serbest kesim çelik kütük köşesinin enine kesiti, küçük bir gözenek gösteriyor.

Hava deliklerinin oluşması, evrensel olarak, bir kabarcık oluşturmaya yetecek kadar çözülmüş gazların (oksijen, nitrojen ve/veya hidrojen) fazlalığına atfedilmiştir [2]. Şekil 2.23, hava deliğinin yok olması için belirli bir miktarda çözülmüş gaz bulunmalı ve kalıbın daha altında ferostatik basınç daha yüksek olduğunda kısmi basınç çözülmüş gazlarla telafi edilmelidir.



Şekil 2.23. Hava deliği oluşumunun modellenmesinin tipik bir düşük karbonlu çeliğe uygulanması: %0,05 C, 0,40 Mn [2].

Bu kusurlar, yüzeyle temas halinde değilse, iğne deliklerinin aksine, yeniden ısıtma sırasında oksit tabaka (scale) oluşturmazlar. Bu nedenle haddelendirme sırasında kısmen veya tamamen kaynak yapabilirler. Ancak segregasyonun bunlarla ilişkili olduğu ve bazı uygulamalarda sıkıntı yaratabileceği unutulmamalıdır. Bu ayrışma genellikle haddelenmiş ürünlerin enine metalografik kesiminde hayalet çizgiler olarak görülür. Ayrıca yarı yol ve köşe dışı çatlaklar gibi ayrışmayla ilgili diğer kusurlardan da kaynaklanabilirler. Bir kusura yer verme riskinde, belirli durumlarda hava deliklerinin oluşması endemik ise, bir iyileştirme planı tasarlanmalı ve yürütülmelidir.

Hava deliklerinin oluşumunun en aza indirilmesi, çelikte yüksek oksijen, nitrojen veya hidrojen nedenlerinden kaçınarak (geniş anlamda pota ve tandiş kaplama hazırlığının yanı sıra kireç işleme dahil) sabit ve tekdüze çalışma uygulamaları ile gerçekleştirilebilir. Bu, potada kuru kireç (veya kısmi sinterlenmiş kirecin) kullanımı; düşük fırın cürufu taşınması, deokside edilmemiş veya aşırı deokside edilmiş potaların döküm makinesine gönderilmesini önleyen ve/veya uzun işlem sürelerinden kaçınan bir sistemin kullanılması ve bu durum meydana geldiğinde argona geçiş sağlayan bir deoksidasyon uygulamasının bulunması; nemi kalmamış pota ve tandişin kullanılması anlamına gelir. Hava deliklerinin oluşma sebepleri:

- Pota içindeki cürufun yüzeye çıkarılması için oksidasyon işlemlerinin zor olmasından dolayı oksidasyon işlemi bitmeden potayı döküme göndermek
- Tandış dolumu sırasında hava ile temas sırasında alınan oksijen ve nitrojen, tandış astarında kalan nem ile reaksiyona girmesi
- Astarında bir miktar nem kalan yeni pota
- Karıştırma gazı olarak sadece nitrojen kullanıldığında, uzun işlem süresi ile karıştırma yapılmış pota.

Kiriş taslak döküm makinesinde, hava deliği oluşumunun bir başka sebebi tandış astarı için sızdırmazlık malzemesinden gelen hidrojen olduğu bulunmuştur [2].

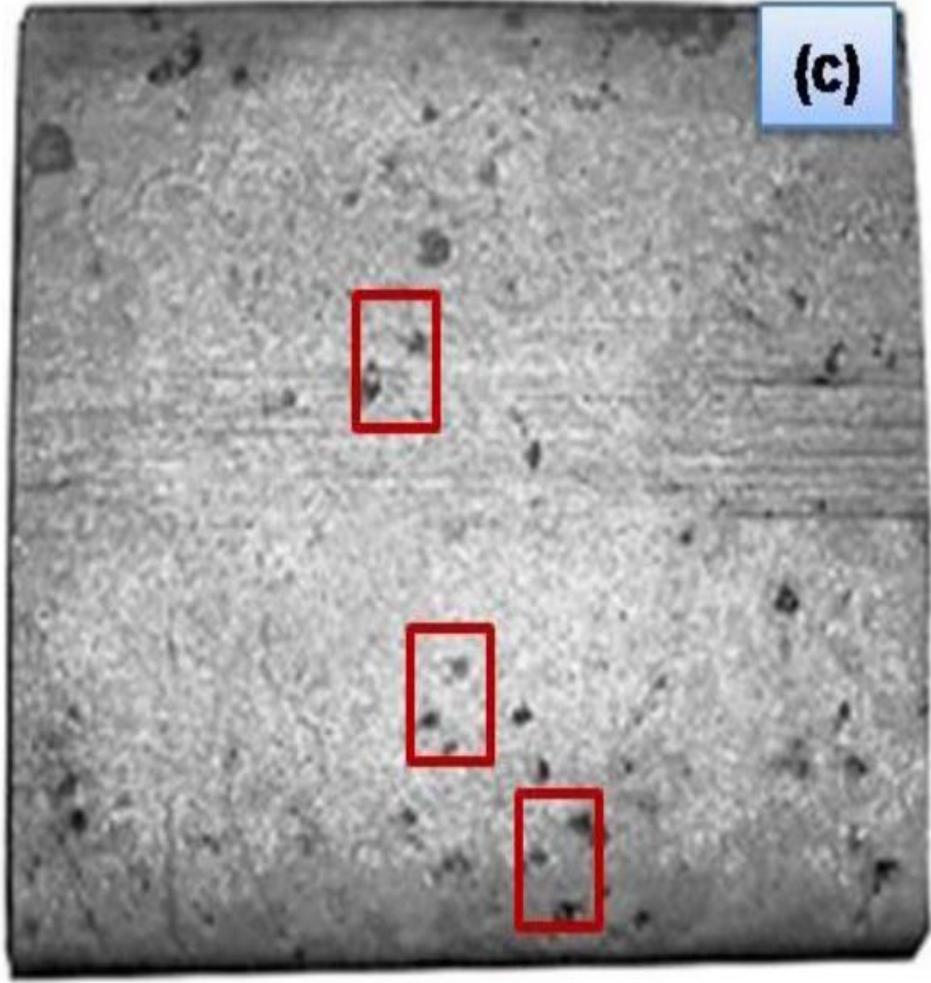
## **2.11. BÜZÜLME (SHRINKAGE) GÖZENEKLİLİĞİ**

Büzülme kusurları, metal katılaştığında çekmeyi telafi etmek için besleme metali yeterli olmadığında ortaya çıkar. Büzülme kusurları tamamen farklı 2 türe ayrılır: açık büzülme kusurları ve kapalı büzülme kusurları. Açık büzülme kusurları atmosfere açıktır, çünkü büzülme boşluğu hava ile dengelenir. İki tip açık hava kusuru vardır: borular ve oyulmuş yüzeyler. Borular, dökümün yüzeyinde oluşur ve dökümün içine doğru oyuklaşırken, oyulmuş yüzeyler, dökümün yüzeyi boyunca oluşan sığ oyuklardır. Büzülme gözenekliliği olarak da adlandırılan kapalı büzülme kusurları, döküm içinde oluşan kusurlardır. Katılaşmış metalin içinde izole sıvı havuzları oluşur ve bunlara sıcak noktalar denir. Büzülme kusuru genellikle sıcak noktaların üst kısımlarında oluşur. Bir çekirdeklenme noktası gerektirirler, bu nedenle safsızlıklar ve çözünmüş gaz kapalı büzülme kusurlarına neden olabilir. Kusurlar makro gözenekliliğe ve mikro gözenekliliğe (veya mikro büzülmeye) ayrılır, burada makro gözeneklilik çıplak gözle görülür ve mikro gözeneklilik görülemez. Büzülme gözenekliliği özellikle yüksek karbonlu alaşımlı çeliklerde ve yüksek viskoziteli çeliklerde gözlenir. Büzülme gözenekliliği, bir çubuğun ucundaki enine kesitte görülebilen bir malzeme boşluğunu temsil eder. Çubuğun ucu kesilerek çıkarılır, ayrıca kusurlu kısım reddedilir. Bu kusuru üreten nedenler, yüksek döküm sıcaklığı, yüksek ekstraksiyon hızı ve yoğun ikincil soğutmadır [1].



## 2.12. İNKLÜZYON

İnklüzyon (temizlik), metalik olmayan malzemelerin oksitleridir (Cüruf, refrakterler vb.) (Şekil 2.24). Cüruf inklüzyonları, yüzeyde bulunan cüruf inklüzyonları ile kökenlerini ve bileşimlerini yansıtan, düzensiz ve krater şeklinde bir boşluk oluşturan düzensiz görünümüne sahiptir. Çeliğin havadan veya refrakterlerden gelen oksijenle oksidasyonu inklüzyona sebep olabilir, Pota ve tandış refrakterlerinden ve kalıp tozlarından eksojen inklüzyonlarının toplanması [1]. Metalik olmayan inklüzyonlar, üretim boyunca erimiş ve konsolide metalde meydana gelen çeşitli fiziksel-kimyasal etkiler nedeniyle ortaya çıkar. Metal üretimi boyunca farklı reaksiyonlar nedeniyle ortaya çıkan doğal veya yerli inklüzyonlar olarak adlandırılır. Oksitleri, sülfürleri, nitritleri ve fosfitleri içerirler. Doğal inklüzyonlar dışında metalde cüruf parçaları, refrakterler, döküm kalıbı malzemesi (metalın üretimi boyunca temas ettiği malzeme) vardır. Bu tür metalik olmayan inklüzyonlar, yabancı, tesadüfi veya eksojen olarak adlandırılır [1].



Şekil 2.24. Curuf inklüzyonları.

İnklüzyon çatlaklarının kükürt ve bakırın tercihli ayrışması ve müteakip sıcak haddeleme sırasında çelik için "sıcak gevrekliğe" sebep olan çeşitli sülfid inklüzyonlarının oluşumu nedeniyle oluştuğu görülmektedir [1].

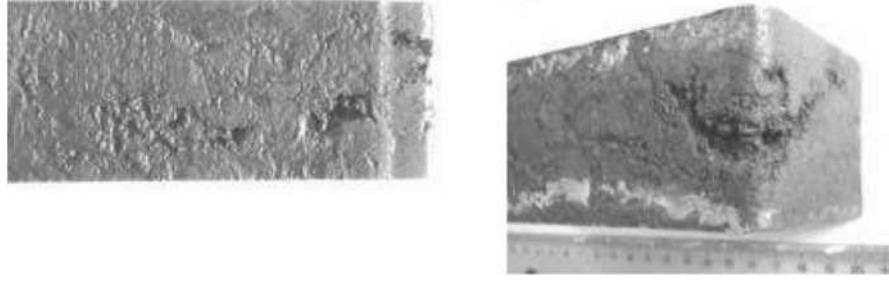
Kütük dökümde iç çatlama sorunları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir [1].

Çizelge 2.1. Kütük dökümünde dahili çatlama sorunları.

KALİTE SORUNLARI	YER	NEDENLERİ	ETKİLEYEN FAKTÖRLER
<b>Off-Köşe Çatlak</b>	Kalıbın kısmı veya kalıp çıkışına çok yakın	alt Katı kabuğun şişmesi veya ve köşelerde hinging at off-corners	Kalıbın termo-mekanik davranışı; Olumsuz kalıp/kabuk etkileşimi; Derin ve düzensiz salınım işaretleri; Çelik bileşimi ve kızdırma superheat
<b>Çapraz Çatlak</b>	Püskürtme bölgesi	Kalıp üretilen olmayan kabuk	Kalıbın termo-mekanik davranışı; Olumsuz kalıp/kabuk etkileşimi; Kalıpta asenkron aralıklı kaynama; Derin ve düzensiz salınım işaretleri; çelik bileşimi ve kızdırma
		Asimetrik soğutma	sprey Zayıf sprej tasarımı ve bakımı; Çelik bileşimi ve kızdırma
<b>Orta çizgi çatlağı</b>	Tam katılaşma noktasına yakın	Tam noktasında hattı sıcaklığında düşüş	Tam katılaşma noktasına yakın merkez yetersiz sprej soğutma; Çelik ani bileşimi ve kızdırma
<b>Pinch-roll Crack</b>	Kıstırma rulolarına yakın	Sıvı merkezli bir kütük üzerinde sıkma	Aşırı sıkıştırma silindiri basıncı; Çelik bileşimi ve kızdırma
<b>Bükülmez Çatlaklar</b>	Bükülme noktasına yakın	Sıvı Merkezli kütükte bükülmezlik	bir Aşırı eğilme gerilimleri; Çelik bileşimi ve kızdırma; Yüksek döküm hızı
<b>Yarı Yol Çatlağı</b>	Kalıp çıkışında veya kalıp sprejler arasındaki boşlukta	Kütük yüzeyinin yeniden ısıtılması ile	Kalıp ve sprejler arasındaki uyumsuzluk: tasarım veya bakım sorunu nedeniyle; Kalıp çıkışına yakın soğutma ceketinin kötü tasarımı; Çelik bileşimi ve kızdırma
	Sprejlerin kısmı	üst Kütük yeniden ısıtılması	Yetersiz püskürtme bakımı: bükülmüş veya tıkalı püskürtme memeleri; Çelik bileşimi ve kızdırma
	Sprejlerin kısmı	alt Sprejler veya Radyasyonlu soğutma bölgesi	Sprejler: tasarım ve bakım sorunları; Çelik bileşimi ve kızdırma
		Kalıp üretilen soğutulmuş lekelerin ısıtılması	Kalıbın termo-mekanik aşırı davranışı; Olumsuz kalıp/kabuk koyu etkileşimi; Derin ve düzensiz salınım işaretleri; Çelik bileşimi ve kızdırma

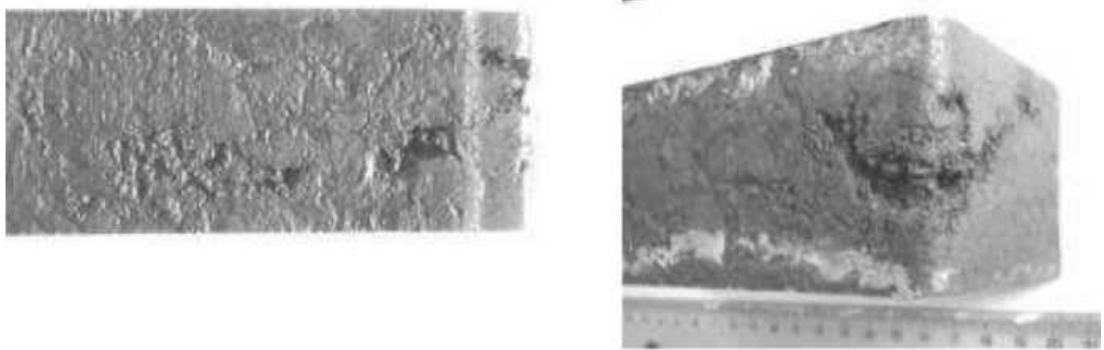
### 2.13. CÜRUF SIKIŞMASI VE SOĞUK DAMLALAR OLUŞUMU

Santillana ve arkadaşları [5] cüruf hapsolması aynı zamanda soğuk damlalar ve gözeneklilik ile ilişkili kütük retlerin azaltılması için SAE 1020'ye benzer iki adet 150 x 150 mm kalite 50 çelik kütükle üzerinde çalışma yapmışlardır. Şekil 2.1, bu tip kusurların görünüşünü vermektedir. Bu tip kusur, köşelerde daha belirgin ve malzeme eksikliğine benzer görünüyor. Köşede, yükselen bir V şeklinde malzeme eksik bölgeler var (Şekil 2.1). Büyüteç aracılığıyla kusur içi incelendiğinde küçük çelik bilye damlalar gözlemlendi ve metalik olmayan malzemenin varlığı tespit edilmedi.



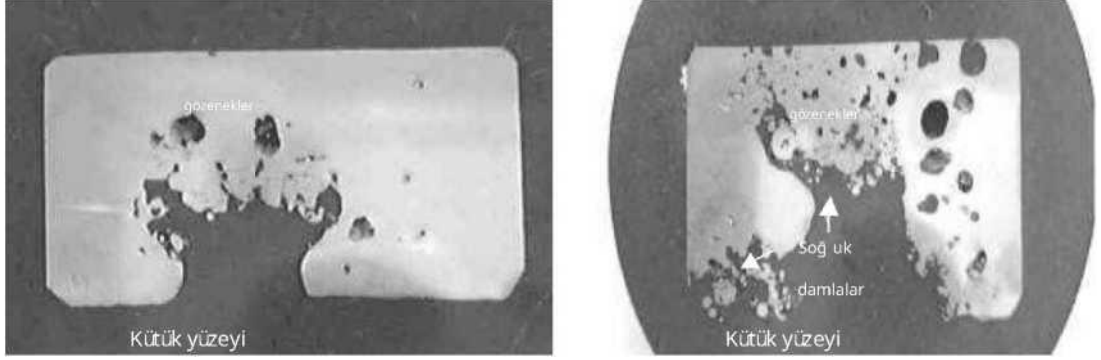
Şekil 2.25. Kütüklerde cüruf tutulması olarak değerlendirilen kusurların görünümü [5].

Santillana ve arkadaşları [5] cüruf hapsolması aynı zamanda soğuk damlalar ve gözeneklilik ile ilişkili kütük retlerin azaltılması için SAE 1020'ye benzer iki adet 150 x 150 mm kalite 50 çelik kütükle üzerinde çalışma yapmışlardır. Şekil 25, bu tip kusurların görünüşünü vermektedir. Bu tip kusur, köşelerde daha belirgin ve malzeme eksikliğine benzer görünüyor. Köşede, yükselen bir V şeklinde malzeme eksik bölgeler var (Şekil 25). Büyüteç aracılığıyla kusur içi incelendiğinde küçük çelik bilye damlalar gözlemlendi ve metalik olmayan malzemenin varlığı tespit edilmedi.



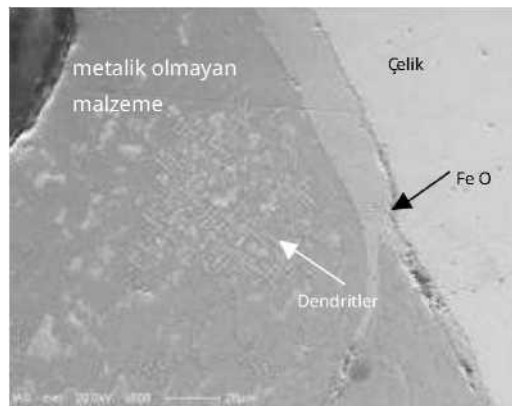
Şekil 2.26. Kütüklerde cüruf sıkışması olarak değerlendirilen kusurların görünümü.

Şekil 2.26'de verilen kusurlu bölgenin daha detaylı incelemesi Şekil 2.27.' de parlatılmış numuneler üzerinden verilmiştir. Şekil 2.27'den görülebileceği gibi, soğuk damlalarla ilgili malzeme eksikliği ve önemli ölçüde gözeneklilik vardır. Bu gözeneklilik, kütüğün iç kısmına doğru 10 ila 16 mm derinliğe kadar gelişmiştir.



Şekil 2.27. Parlatılmış numunelerdeki cüruf sıkışması olarak nitelendirilen kusurların çıplak gözle görünümü. Malzeme eksikliğinin yanı sıra soğuk damlalar ve gözeneklilik belirtisi [5].

Şekil 2.27'de gösterilen kusur bölgesinde metalik olmayan bir materyalin varlığı ancak ışık mikroskobu ile gözlemlenerek tespit edilebilmiştir [5]. Metalik olmayan materyal, çeliği çevreleyen kabuk bağlanma ve makro inklüzyonlar gibi farklı şekillerde ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu bölgede dekarbürasyon ve soğuk damlalar gözlemlendi. Şekil 2.28'de kabuk bağlanmalardan birinin SEM (geri saçılan elektronlar) ile çekilmiş bir fotoğrafı sunulmaktadır [5]. EDS analizi, demir oksit kaplı mangan silikat olduğunu ve içinde FeO bakımından zengin dendritlerin çökeldiğini ortaya çıkarmıştır [5]. Çizelge 2.1'de karşılık gelen EDS analizi sunulmaktadır [5].

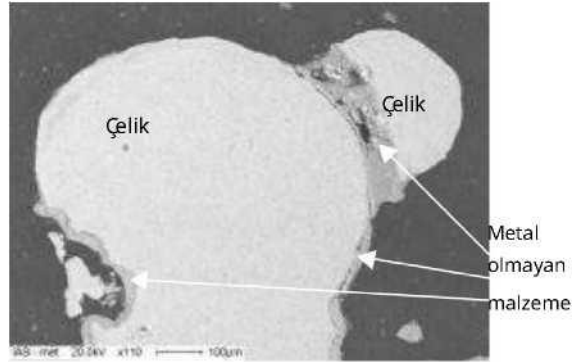


Şekil 2.28. Metalik olmayan inklüzyonlar: demir oksit dendritli mangan silikat [5].

Çizelge 2.2. Metalik olmayan malzemenin EDS analizi [5].

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	CaO	MnO	FeO
<b>Küresel</b>	2,6	55,5	0,6	0,8	40,5	-
<b>Küresel</b>	3,7	58,9	1,3	1,4	33,4	-
<b>Dendritler</b>	-	2,5	-	-	20,6	75,9
<b>Matrix</b>	-	27,9	-	1,1	32,9	38,2

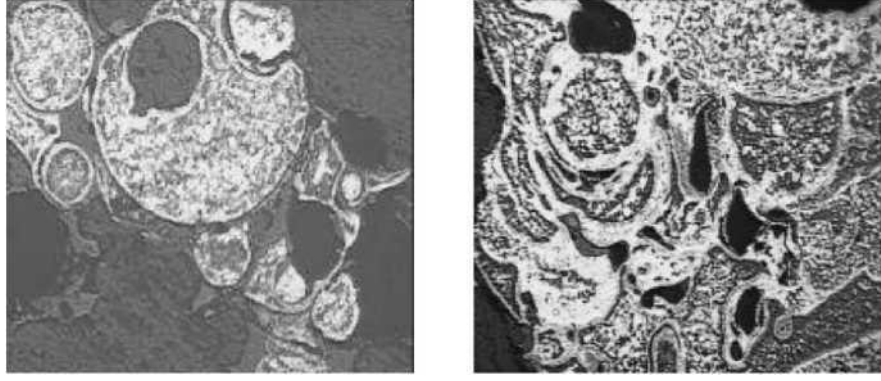
Çeliği çevreleyen mangan silikat veya mangan ve demir oksitler kaydedilmiştir (Çizelge 2.2). Kusuru çevreleyen 20 ila 50 mikronluk ince bir tabaka oluşmuş (Şekil 2.29) ve bazı durumlarda metalik malzemenin parçalarını birleştirdiği görülmüştür. İncelenen örneklerde, birkaç küresel makro inklüzyon da bulunmaktadır. Bu inklüzyonlar, homojen mangan silikatlar, rhodonite iğneli mangan silikatlar ve kristobalit dendritli mangan silikatlarıdır (Şekil 2.30). Bileşimlerine göre, bu inklüzyonların hava teması ile oksidasyondan kaynaklandığına ileri sürülmüştür [5].



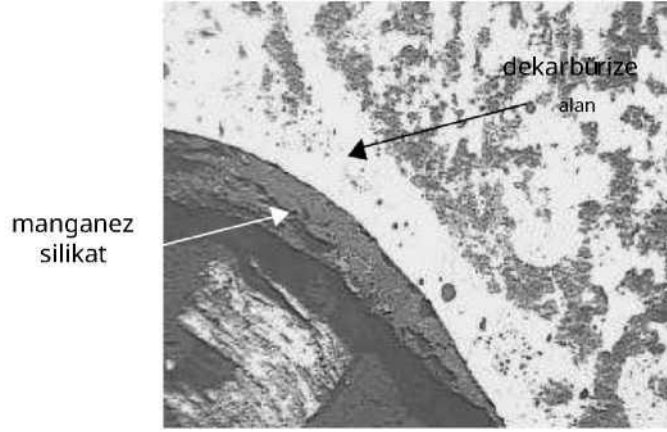
Şekil 2.29. Çeliği çevreleyen mangan silikat ve demir oksit [5].



Şekil 2.30. Küresel makro inklüzyonlar. Solda: Rodhonit mangan silikat; Ortada: kristobalit dendritli mangan silikat, Sağ da; Camsı mangan silikat [5].



Şekil 2.31. Kusur içindeki soğuk damlalar. Bazıları izole edilmiş, diğerleri yeniden erimiş, ancak sınır dağlama ile ortaya çıkıyor [5].



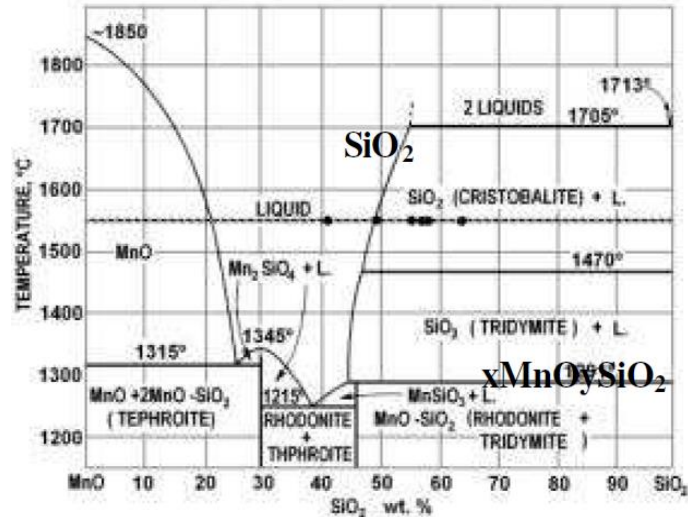
Şekil 2.32. Çeliği çevreleyen manganez silikatla kaplı dekarbürizasyon [5].

Sürekli döküm kalıbının sıvı çelik menisküsünde yüzen cüruf oluşumu esas olarak döküm sırasında çeliğin yeniden oksitlenmesinden kaynaklanır. Genel olarak, cüruf sıvı kalırsa, döküm tozu gibi kütük ve kalıp arasına sızar ve oluşan köpük miktarı aşırı olmadıkça, emülsiyonlaşmaya ve bunun sonucunda makro inklüzyona neden olur. Ancak ikinci bir fazın çökmesi meydana gelirse, cüruf viskozitesi artar ve hapsolme olayı meydana gelebilir, bu da kalite sorunlarına ve hatta ürün (strand) kopmalarına neden olur. Kalıpta alüminyum enjeksiyon kullanan tesislerde ilavenin fazla olduğu veya çelik akışının dışında yapıldığı durumlarda oluşan ikinci faz alümina olabilir. Ancak daha yaygın olarak ikinci faz silis ve literatüre göre çelikteki Mn/Si oranı düşük olduğunda, örneğin 3'ten az olduğunda oluşur [5,6,7].

Bu cürufun katılaşmış kabuğa hapsolmesini teşvik eden sebepler şunlardır:

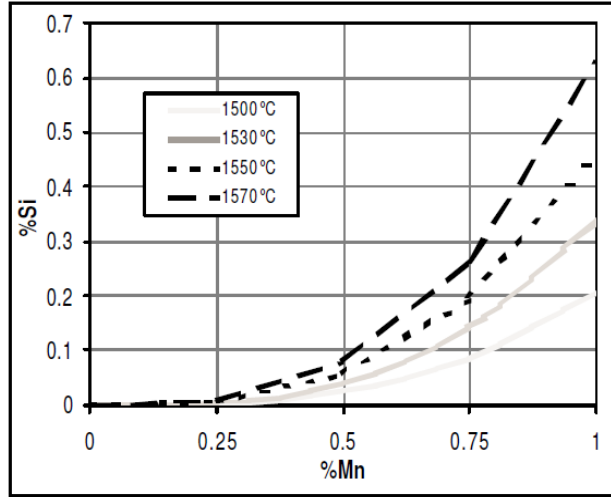
- Düşük karbon içeriği
- Oluşan oksitlerin yüksek erime noktası.
- Oluşan oksitlerin yüksek viskozitesi.
- Sıvı çelikten oluşan oksitlerin düşük ıslanabilirliği
- Düşük Mn değerleri veya bunun dışında sıvı çelikte düşük Mn/Si oranı.
- Çok düşük veya çok yüksek alüminyum içeriği.
- Düşük döküm sıcaklıkları.
- Düşük döküm hızları.

Şekil 2.33.'de verilen MnO-SiO<sub>2</sub> ikili diyagramında, bağlanmış kabukların bileşimleri sunulmaktadır. Bunlar çoğunlukla kristobalit stabilite alanında bulunur, bu nedenle neredeyse tamamı 1550° C'de katı olacaktır. Çelikteki manganez ve silisyuma göre reoksidasyonla oluşan cürufun sıvı manganez silikat olarak mı görüneceğini yoksa çalışma sıcaklığında silis çökmesi mi olacağını belirlemek için Fe-Mn-Si-O'nun fiziksel-kimyasal bir modeli yapılmıştır. Bu model, termodinamik verilere dayanmaktadır ve model üzerinde farklı sıcaklıklarda Mn ve Si'nin %'sinin fonksiyonu olarak silika ile doygunluk eğrileri gösterilmektedir (Şekil 2.34).



Şekil 2.33. MnO- SiO<sub>2</sub> diyagramında kabuk bağlanmalarının konumu [5].





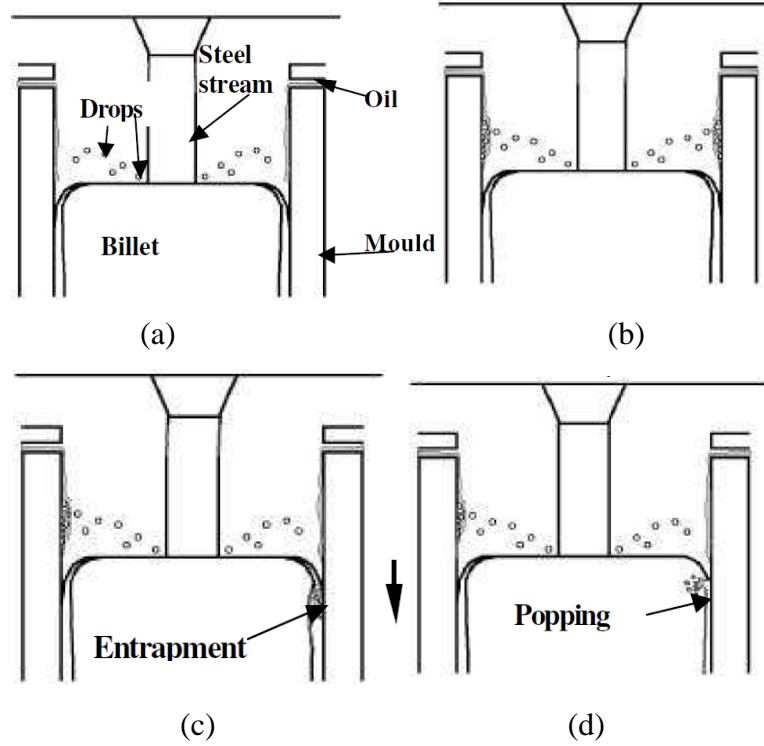
Şekil 2.34. Çelikte Mn ve Si'nin bir fonksiyonu olarak SiO<sub>2</sub>'nin çökmesi için denge eğrileri [5].

Şekil 2.34'de verilen eğriler analiz edildiğinde, silis çökmesini önlemek için gereken Mn/Si ilişkisinin sabit olmadığı, bir sıcaklık fonksiyonu olarak değiştiği gözlenmiştir. Silika çökmesi, düşük sıcaklıklar ve çelikte belirli bir Si miktarı için düşük Mn miktarları tarafından tercih edilir. Silisyum-mangan ile öldürülmüş çelikleri üreten çelik fabrikalarında, belirli koşullarda, cürufun ve çeliğin oksidasyon durumu ile ilgili cüruf hapsolmasının olduğu bilinmektedir. Cüruftaki MnO artışı ve çelikteki Mn içeriklerinde azalma, cüruf hapsolması için gerekli koşulları ortaya çıkabilir. Aynı durum, dökümün sonuna doğru geçici sıcaklık düşüşü koşullarında da gerçekleşebilir.

Şekil 2.27. ve 2.31'de gösterilen soğuk damla oluşumu mekanizma aşağıdaki gibidir [5]:

- Çelik akışının üniform olmadığı, döküm makinesinin hizalanmaması, kalıp salınımı (titreşimi) sorunları vb. durumlarda kalıbın içinde çelik sıçramaları olabilir, bu sıçramalar küçük damlalar şeklinde kalıp duvarına özellikle kalıp köşelerine yapışır
- Bu şekilde biriken damlalar arasına, üzerlerinden kayarken yağlama yağı yapışabilir.
- Belirli bir anda, temizleme işlemleri nedeniyle veya kendi ağırlıkları veya çelik seviyesinin artması nedeniyle damlalar ayrılır ve menisküste katılaştıkları çeliğe dahil edilir. Menisküye ulaştıklarında bir miktar cüruf taşıyabilirler.

- Yüksek sıcaklık, H<sub>2</sub> ve CO oluşumu ile yağ reaksiyonunu üretir. Bu reaksiyonlar, üründe gözlemlenen malzeme eksikliğine neden olur (Şekil 2.35).



Şekil 2.35. Soğuk damlaların oluşumu ve hapsolme mekanizması. (a) Sıçrama, (b) Damlaların kalıp köşelerinde birikmesi, (c) Katılaştıran kabukta kopma ve hapsolme ve (d) Kalan yağın termal ayrışması nedeniyle patlama [5].

Çelikhanede yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre pota ocağındaki metalurjik proseste ve sürekli döküm makinesinde soğuk damla oluşumunu önlemek için çeşitli modifikasyonlar önerilmiştir [5].

- Tandışleri ön ısıtmak (böylece kalıptaki çelik akıntısının kararsızlığı ve damlaması azaltılır).
- İç nozulların kalıba göre düzgün hizalanmasını sağlamak.
- % Ca/%Al ve %Ca/%S oranını kontrol ederek nozul tıkanmasını önlemek (böylece soğuk damlacıkların çıkışı en aza indirilir).
- İçlerinde nem olmamasını sağlamak için kalıp ve yağları önceden ısıtmak.
- Tandışte çeliğin termal stabilitesini iyileştirmek.

Sürekli döküm kütüğünde gözlemlenen yüzey kusurlarından burada incelenen cüruf hapsolması, soğuk damlalar, malzeme eksikliği ve gözeneklilik birbirleri ile ilişkilidir [5,6,7]. Hapsolmayı önlemek için Mn/Si oranı sabit değildir, ancak sıcaklığın ve diğer faktörlerin bir fonksiyonudur. Mn/Si oranı 3'e eşit veya daha büyük olan bir çelik tasarımı için bile, düşük sıcaklık, düşük Mn veya yüksek reoksidasyon gibi geçici durumlarda (örneğin, dökümün sonuna kadar) cüruf oluşumu ve hapsolma var olabilir. Uniform olmayan çelik akışı, döküm makinesinin yanlış hizalanması vb. nedeniyle sıçrayan çelik, kalıp köşelerinde soğuk damlaların birikmesine neden olabilir. Bu birikintiler yağlama yağı ile ıslatılabilir. Daha sonra, temizleme işlemleriyle, kendi ağırlığıyla veya kalıptaki çelik seviyesindeki bir artışla, katılaştıran kabuğa bir miktar süprüntü ekleyerek karışabilirler. Kalan yağ reaksiyona girebilir.

## BÖLÜM 3

### KUSURLARIN KÖKENİNİ BELİRLEME YÖNTEMİ

Kusurların kaynağının belirlenmesi, genel bilgilerin kaydedilmesini ve analizini içerir. Kusurun sıklığını, kütüğün aynı köşesindeki veya yüzündeki konumunu, çubuk veya filmaşindeki konumunu (bir veya birkaç uzunlamasına hat), çelik kalitesine bağımlılığını vb. bilmek önemlidir. Ayrıca, kusurun genel görünümünün çıplak gözle veya büyüteçle kapsamlı bir şekilde incelenmesi de önemlidir. Bundan sonra, haddelenmiş ürünün veya kütüğün parlatılmış numunelerinin, genellikle enine kesimlerinin gözlemlenmesi ve daha yüksek büyütmede mikroskobik çalışma, farklı reaktiflerle dağlama, kusur özellikleri hakkında fikir verir.

Uzun ürünlerde yüzey kusurlarını en aza indirmek için bunların kaynağının değerlendirilmesi gerekir. Bu amaçla, çeşitli dağlayıcı reaktifler kullanılarak çubuk ve filmaşın üzerinde metalografik çalışmaları içeren ve kütükteki kusurun eski konumunu, oksijen penetrasyonunu vb. belirlemek için dağlayıcıların kullanımı da dahil olmak üzere bir metodoloji takip edilmelidir. Ayrıca dahili oksidasyon, kusur içindeki tortuya verilen yorum, dekarbürizasyon, kısmi kaynak ve diğer metalografik özellikler tartışılır. Kütük üzerindeki görünüşü ve metalografik özellikleri, yeniden ısıtma ve haddeleme sırasındaki gelişimi ve çubuk/filmaşın üzerindeki nihai görünüşü ve metalografik özellikleri dikkate alınarak, kütük üzerindeki iğne delikleri ve enine çatlaklar vb. kusurlar tartışılır. Bu kusurların oluşmasına neden olan temel nedenler ve önerilen çözümler her durum için analiz edilir.

Sürekli döküm ve haddeleme işlemlerinin bilgisi gereklidir ve ilgili verileri verebilir. Bazı durumlarda, çelikhane ve/veya haddeleme sürecindeki işlem takibini tasarlamak önemli olabilir. Bu genel kriterler Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kusurların kaynağının belirlenmesi için metodoloji.

<b>Görevler</b>	<b>Bilgi sıklığı,</b>
<b>Genel bilgi</b>	Sıklık, konum, şeritlerden birinde veya kütüğün yüzlerinden birinde, çubuk veya filmaşında konum (bir veya birkaç uzunlamasına çizgide), bazı çelik kalitelerinin etkisi, vb.
<b>Mikroskobik çalışma</b>	Çıplak gözle veya büyüteç yardımı ile; parlatılmış numune gözlemi, genel olarak haddelenmiş ürünlerden enine kesimler ve farklı reaktiflerle dağlama.
<b>İşlem/Üretim bilgisi</b>	Çelikhane (Çelik Eritme Atölyesinden) veya haddehaneden gelen rutin veriler
<b>Kendi geçmişi ve halk literatürü</b>	Kendi raporlarında, diğer fabrikalarda ve literatürde benzer kusurları aramak
<b>Isı takibi</b>	Çelikhane ve haddehanede
<b>Fiziksel veya matematiksel simülasyon</b>	Genellikle sadece akademik ilgiye sahiptir veya sorunun gelecekte tekrarlanmasını önleme amaçlıdır.

Parlatılmış numunelerin metalografik gözlemi, bir kusurun kaynağının belirlenmesi gerektiğinde önemli bilgiler verir. Çoğu zaman, kusurun genel yönü hakkında fikir sahibi olmadan, sadece ışık mikroskobunda enine bir kesimin gözlemlenmesiyle bir kusurun kökenini bulmak mümkün değildir.

Çizelge 3.2’de kusurların incelenmesi için farklı teknikler ve kusurların kaynağına ilişkin olarak bunlardan alınabilecek bilgiler belirtilmiştir. Bu teknikler ve bunları kullanarak elde edilebilecek bilgiler, önceki bir makalede ayrıntılı olarak tartışılmıştır [3].

Çizelge 3.2. Kusurların incelenmesi için teknikler ve bunların menşei hakkında verdikleri bilgiler.

<b>Gözlem türü</b>	<b>Elde edilen bilgiler</b>
Çıplak gözle veya büyüteçle Parlatılmış olarak	Morfoloji, pozisyon, frekans, Pozisyon, penetrasyon, yön, dahili (iç) oksidasyon, kısmi kaynak, tufal, inklüzyonlar,
Nital dağlayıcısı	Dekarbürizasyon, bantlı yapı, tane büyümesi, segregasyon, dönüşüm yapıları, malzeme akış hatları
Oberhoffer dağlayıcısı (following formulation: 500 cm <sup>3</sup> distilled water, 500 cm <sup>3</sup> ethanol, 0.5 g tin (II) chloride, 1 g copper (II) chloride, 30 g iron (III) chloride, 50 cm <sup>3</sup> nitric acid)	Ayrışma (segregasyon), katılma yapısı, kütük köşesinin konumu, orta yol çatlakları, deformasyon akış modeli
Alkali Sodik Kromat dağlayıcısı	Oksijen sızması (penetrasyonu)
Bechet - Beaujard'ın dağlayıcısı	Kanca oluşumu, katılma yapısı
SEM gözlemi ve EDS analizi	Ölçek, makro makro inklüzyonların kaynağı, garip malzemeler hakkında şüpheler

## BÖLÜM 4

### KÜTÜK TAŞLAMA İLE KUSURLARIN GİDERİMİ

Sürekli döküm makinalarında üretilen kare kesitli kütüklerin yüzeyinde veya yüzey altında oluşabilecek sorunlar sıcak haddeme ile üretilen filmaşınların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Hem malzeme verimliliği hem de ürün kalitesinin artırılması için yarı mamül yüzeyine günümüz teknolojileri ile çözüm aramaya başlanmıştır. Bunun sonucunda yarı mamüllerin yüzey temizliğini sağlamak için ekipmanlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri de kütük taşlama makineleridir.

Sürekli döküm makinalarında üretilen kütüklerde görülen ve kütük taşlama makineleri ile sorunun giderilmesi mümkün olan hatalar şu şekildedir; [1]

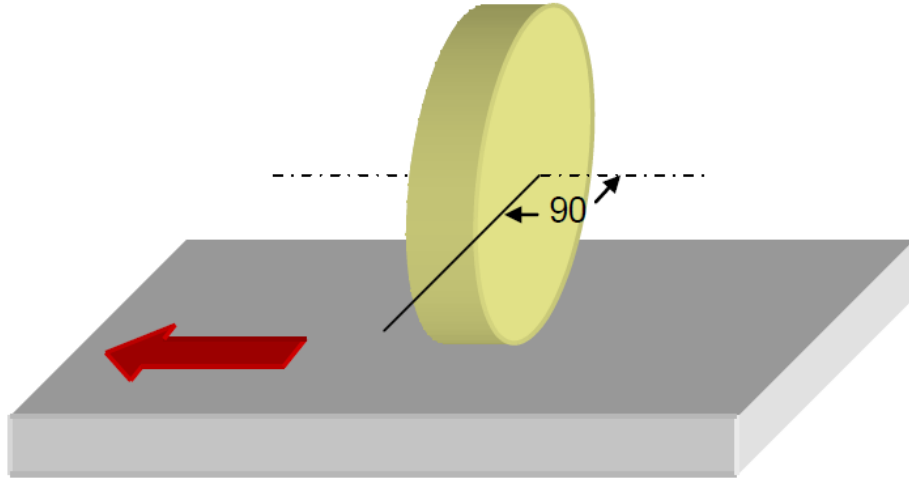
Otomotiv, havacılık, mühendislik ve benzeri endüstrilerde nihai çelik ürünlerin giderek artan sıkı kalite ve performans gereklilikleri nedeniyle, çelik üretim sürecindeki toplam kalite kontrolünün önemi giderek artmaktadır.

En modern döküm tesislerinde bile, haddehaneye beslenmeden önce çelik levhaların ve kütüklerin %100'ünün onaylanması için taşlama tesisleri, en yüksek kalitede bir haddelenmiş ürün elde etmek için önemli bir araçtır. Çelik üreticilerinin karşı karşıya olduğu temel sorunlar, bu tür tesislerin etkinliği, üretkenliği, insan gücü gereksinimleri ve çevresel performansdır. Bu makalenin amacı, aşağıdaki teknolojiyi içeren modern bir levha yüzey şartlandırma tesisinin en son özelliklerini göstermektir:

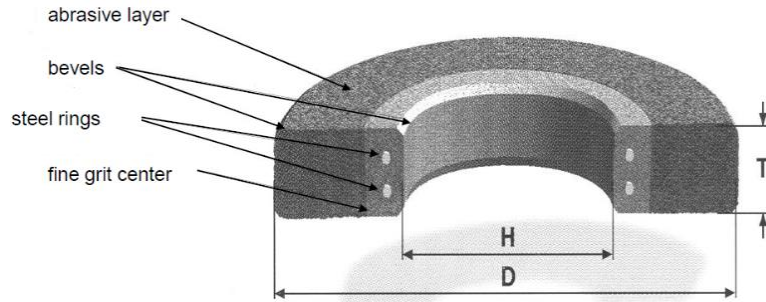
- Daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü ve daha düşük taşlama taşı tüketimi için E küp (e<sup>3</sup>) taşlama işlemi;
- otomatik kütük taşlama için intelligrind denetim süreci;
- ultra yüksek üretim oranları için 630 KW (yaklaşık 860 hp) iş mili gücüne sahip süper öğütücü yüksek güçlü öğütme sistemi.

Taşlama işlemi, kütük taşlama makineleri sayesinde, kütük üzerinde taşlama arkının kütük yönüne göre  $90^\circ$  veya  $45^\circ$ lik açısında çalışmak mümkündür. Çalışmada kullanılan makine  $90^\circ$  taşlama yapmaktadır.

Yüzey bitirme ve köşe taşlama için  $90^\circ$  ayar açısı kullanılmıştır. Avantajları, çok yüksek bir yüzey kalitesi ve bu taşın daha sürekli tüketilmesi nedeniyle daha uzun bir taşlama taşı ömrüdür. Dezavantajı, gerekli aşırı öğütme nedeniyle daha düşük üretkenliktir (şekil.4.1.) [10]. şekil 4.2.' de taşın yapısı verilmektedir. Deneysel alışmalar yapılırken kaliteleri farklı olan döküm deliği amurlarının kullanımı ile kalitesinin; döküm delme performansı, ilk açılma anı, akış durumu, delik çapı genişlemesi, delik boyu uzunluğu, çamur basma kabiliyeti ve spesifik tüketim üzerine etkisi incelenmiş ve dökümhane uygulamaları takip edilerek performans kıyaslaması yapılmıştır.



şekil 4.1.  $90^\circ$  taşlama proses simülasyonu

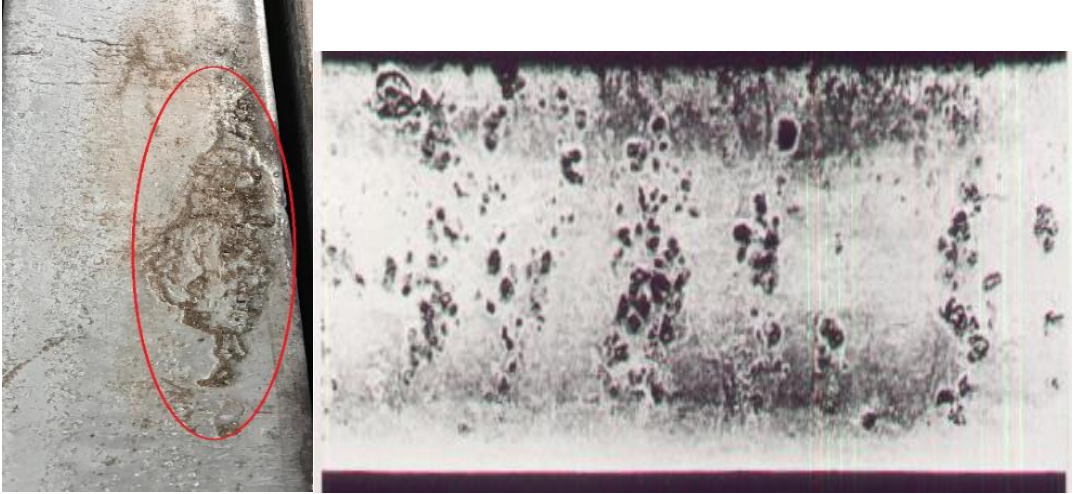


şekil 4.2. Taşlama taşının yapısı.



**Yüzeyde Cürüflanma:** Kütük yüzeyinde görülen cürüflanma hatalarının örnek görselleri Şekil 4.3.' de gösterilmektedir. Bu hatanın başlıca oluşma nedenleri şu şekildedir [8].

- Çelik içerisinde yüksek miktarda cüruf bulunması,
- Yüksek miktarda  $Al_2O_3$  bulunması, düşük miktarda  $SiO_2$ ,  $MnO$ ,  $FeO$  bulunması,
- Refrakterlerin tahrif olması
- Düşük kalıp çelik seviyesi
- Kalıptaki çelik seviye değişimi
- Yetersiz kalıp tozu
- Çelikte reoksidasyon (oksijenin tekrar çeliğe karışması)
- Düşük  $Mn/Si$  oranı

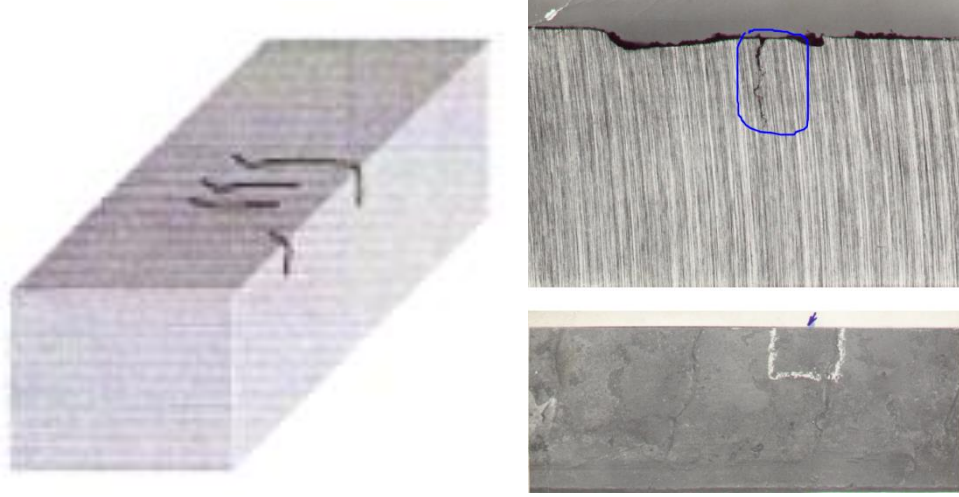


Şekil 4.3. Cürüflanma Hatalarının Örnek Görselleri

**Enine Çatlaklar:** Kütük yüzeyinde görülen Enine Çatlak hatalarının örnek görselleri Şekil 4.4.' de gösterilmektedir. Bu hatanın başlıca oluşma nedenleri şu şekildedir [8].

- Köşelerde yüksek soğutma
- Uygun olmayan kalıp soğutma
- Kalıp ve destek rölleleri arasında yanlış hizalama
- Dengesiz ve çok yüksek ikincil soğutma

- Uygunsuz kalıp tozu
- Menisküs bölgesindeki bakır tüpte fazla deformasyon
- Yüksek çelik sıcaklığı
- Çok büyük kalıp konikliği
- Osilasyon izlerinin çok derin olması



Şekil 4.4. Enine Çatlak Hatalarının

Boyuna Köşe (Radyus) Çatlağı: Kütük yüzeyinde görülen Enine Çatlak hatalarının örnek görselleri Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Bu hatanın başlıca oluşma nedenleri şu şekildedir [8].

- Çok büyük kalıp köşe radyusu
- Çok küçük kalıp konikliği
- Kalıbın bozulması veya aşınması nedeniyle ters kalıp konikliği
- Çok yüksek döküm sıcaklığı
- Yanlış foot-role ayarı ve kalıp-role arası kötü hizalama
- Düzensiz kalıp soğutma
- Kalıp yüzeyleri arasında ki boşluğun  $>0,8\text{mm}$  olması



Şekil 4.5. Boyuna Köşe Çatlağı Örnek Görseli

Araştırma esnasında yarı mamül yüzeyini temizlemek amacıyla kullanılacak olan Kardemir A.Ş. 2022 yılında devreye alınan yarı mamül taşlama makinasıdır. Makinanın üretim yeri Çin'dir. Kütük taşlama makinasında kütük, blum ve yuvarlak kesit yarı mamül taşıyabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Taşlanmış kütüklere örnek olarak Şekil 4.6. da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Taşlanmış Yarı Mamül Kütüğün Görseli

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 17MnB3 kalite kangalın yüzey kusuru içermeksizin üretimi için yarı mamul kütüklere uygulanan yüzey taşlama işleminin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan yarı mamul kütüğün kimyasal bileşimi, LECO ONH 836 marka elementel analiz cihazı ile (Şekil 5.1) ölçülmüş olup, Çizelge 5.1’de verilmiştir. LECO ONH 836 marka elementel 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.



Şekil 5.1. LECO ONH 836 marka elementel analiz cihazı.

Çizelge 5.1. Yarı mamul 17MnB3 kütüğün kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim												
C	Mn	Si	S	P	N	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	B	Kalan
0.183	0.914	0.063	0.005	0.014	0.006	0.190	0.037	0.078	0.004	0.035	0.003	98.633

Yarı mamul 17MnB3 kalite kütüklerin taşlanması için kullanılan kütük taşlama makinesi 90□ taşlama yapabilecek kapasitede olup Taiyuan Hengshan Machinery Co.

Ltd. firmasından temin edilen MG38-H3-12 model kütük taşlama makinesi kütük, blum ve yuvarlak şekilli yarı mamullerde kullanılmaktadır.

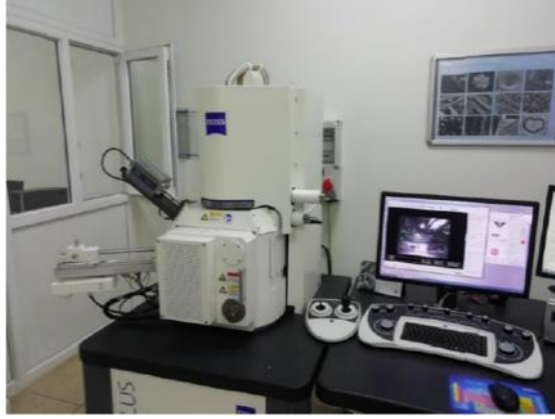
Taşlanmamış ve taşlanmış kütüklerden imal edilmiş 17MnB3 kalite kangallara makro inceleme, mikroyapı karakterizasyonu, pres altında ezme ve basma testleri uygulanmıştır.

Makro inceleme ve mikroyapı karakterizasyonu sırasıyla Dino Lite steoro mikroskop ve ZEISS Imager marka M2m model optik mikroskop ile (Şekil 5.2) yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için 17MnB3 kalite çeliklerin mikroyapı inceleme aşamalarında hem kütükten hem de kangaldan numuneler kesilerek numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Hassas kesilen numuneler sıcak bakalite alındıktan sonra standart metalografik yöntemle 400 mesh-1200 mesh zımparalarla zımparalandıktan sonra 3µ keçe plaka ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %2 nital ile dağlanmıştır.



Şekil 5.2. (a) Steoro ve (b) optik ışık mikroskobu.

Mikroyapı karakterizasyonu kapsamında hem mikroyapı hem de hasar mekanizması Carl Zeiss Ulrta Plus marka SEM cihazı (Şekil 5.2.) da kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Carl Zeiss Ultra Plus Marka SEM görünümü.

Bu çalışma kapsamında taşlama işleminin etkisini gözlemlemek için pres altında ezme ve basma testleri sırasıyla 500 ton kapasiteli hidrometal pres ve Zwick Roell Z600- 60 ton kapasiteli çekme-basma test cihazı (Şekil 5.4) kullanılmıştır. Şekil 5.4'den gözlendiği gibi hidrolik pres load cell içermezken çekme-basma test cihazı load cel ile ölçüm yapmaktadır.



Şekil 5.4. (a) load cell içermeyen ve (b) load cell içeren basma test cihazlarının görünümü.

Hidrolik pres ile yapılan testlerde numuneler, 30 mm çapında 45 mm yüksekliğinde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere TS EN 206 standardına göre testler yapılmıştır. 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 yani 45 mm'den 15 mm'ye indirilir. Test sonrası numune görsel olarak incelenir.

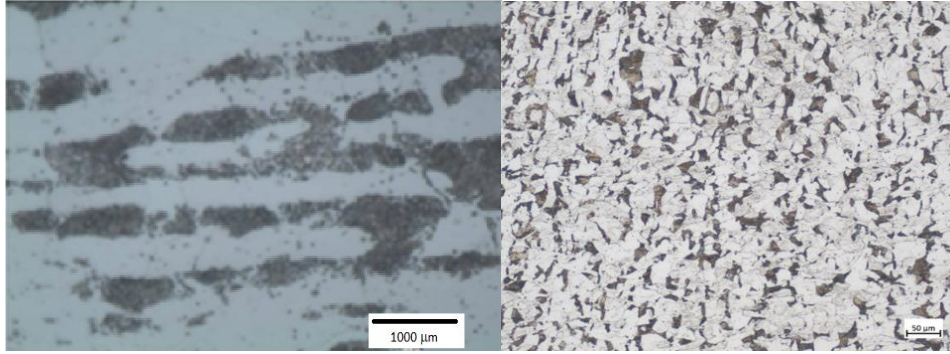
Zwick Roell Z600- 60 ton kapasiteli çekme-basma test cihazında  $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$  derecede, TS EN ISO 6892-1 standardına göre 10 mm çapında 15 mm yüksekliğinde numunelere basma testi uygulanmıştır. Numune alt ve üste bağlanan çeneler arasına yerleştirilir ve çenelerden biri sabit diğeri hareket ettirilerek değişen miktarda basma kuvveti uygulanır.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

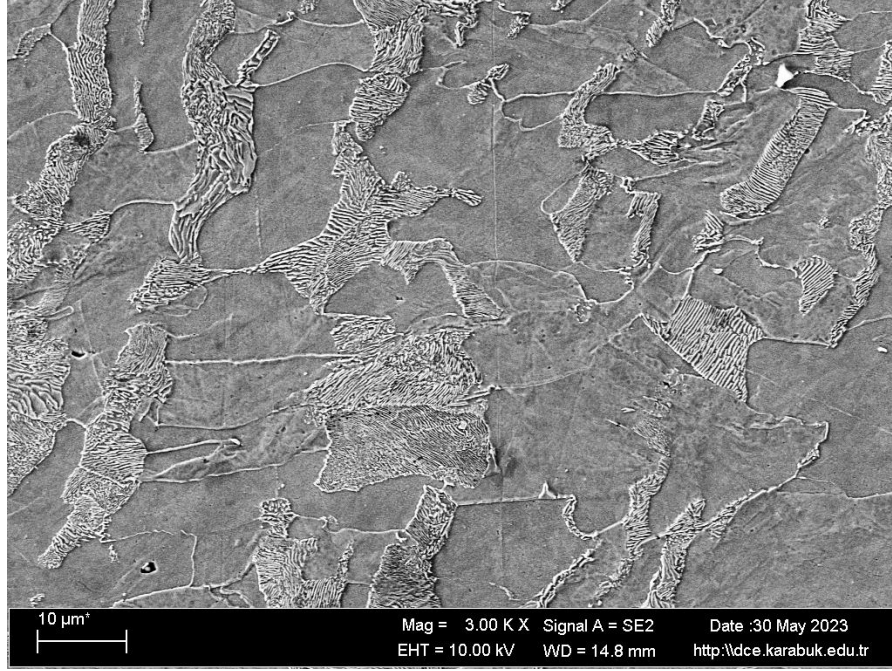
#### 6.1. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

Kütük yarı mamullerden ve üretilmiş kangaldan alınan numunelerin mikro yapısı Şekil 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.1’den gözlendiği gibi kütük yarı mamullerden alınan mikro yapılarda bantlaşma ve hadde yönünde yönlenme var iken üretilmiş kangaldan çekilen mikro fotoğraflarda eş eksenli mikroyapı hakimdir. İncelenen 17MnB3 kalite çeliğin mikro yapısı perlit ve çoğunlukla ferrit yapısındadır. Şekil 6.2’de kangal mamullerden hazırlanmış numunenin SEM görüntüsü verilmektedir. Şekil 6.2’den görüldüğü gibi, ferrit+perlit mikro yapısına sahip olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.1. İncelenen (a) kütük ve (b) kangalların mikroyapısı.

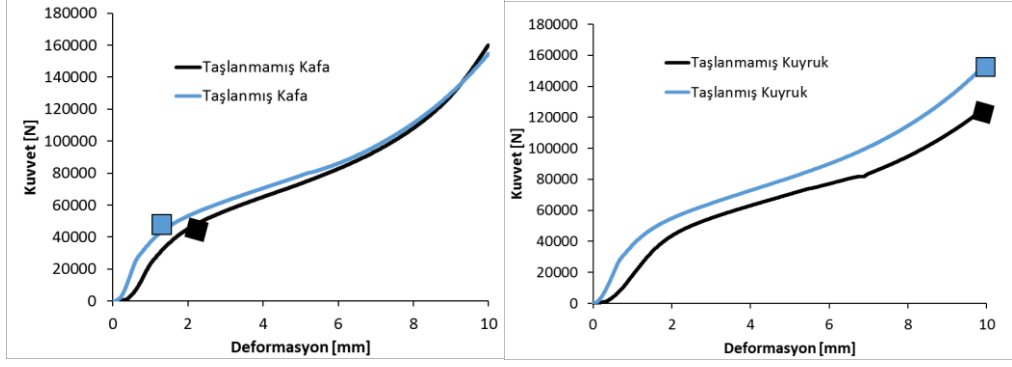




Şekil 6.2. İncelenen kangalın SEM mikroyapısı.

## 6.2. LOAD CELL İLE BASMA

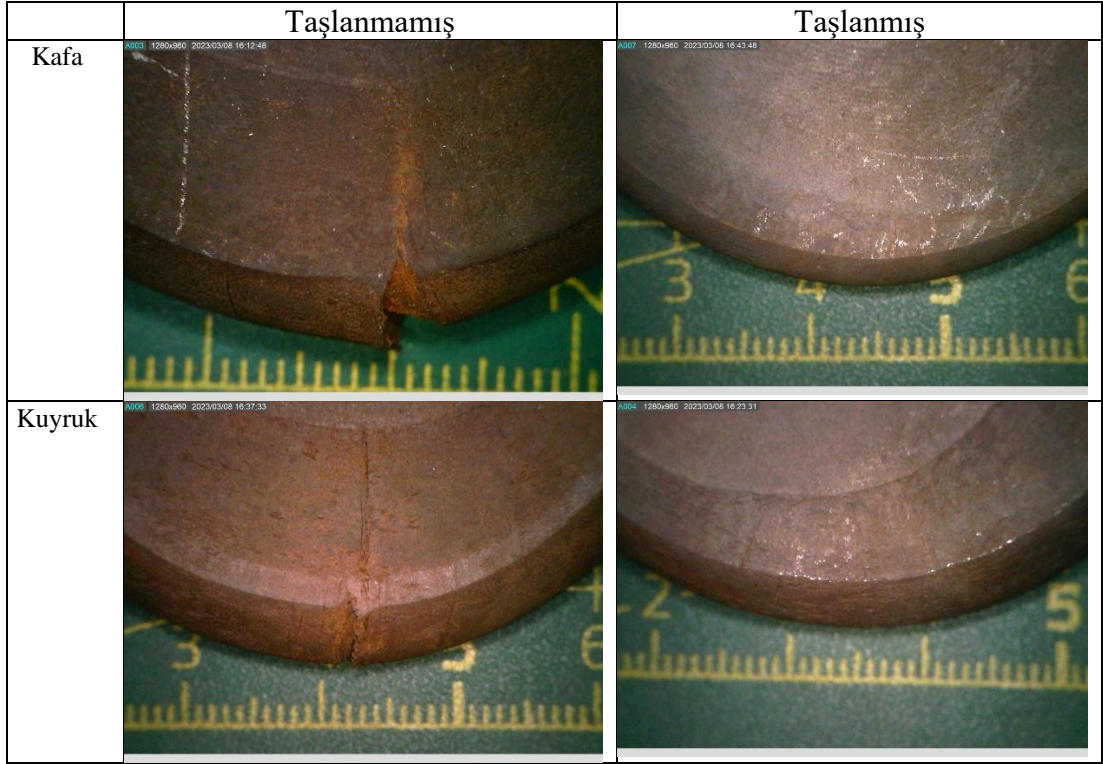
Zwick Roell Z600- 60 ton kapasiteli çekme-basma test cihazı ile gerçekleştirilen kangalların kafa ve kuyruk kısımlarından alınan basma testi sonuçları Şekil 6.3'da verilmiştir. Şekil 6.3, kuvvet ve deformasyon değerlerini vermektedir. Buradaki amaç aynı boyutlarda hazırlanmış numunelerin ezilmesi sırasında taşıdıkları yük değerini karşılaştırmaktır. Ayrıca grafikler kütüklerin haddelenmesi sonrası kafa ve kuyruk kısımlarının basma değerlerini de karşılaştırmaktadır. Buna göre taşlanmamış kütükler taşlanmış kütüklere göre daha az yük taşırken kafa bölgelerinde taşlanmış ile taşlanmamış arasındaki fark birbirine yakın bulunmuştur. Bu durum taşlanmamış numunelerin yüzeyinde oluşan curufanma, boyuna ve enine çatlakların oluşumuna dayandırılabilir.



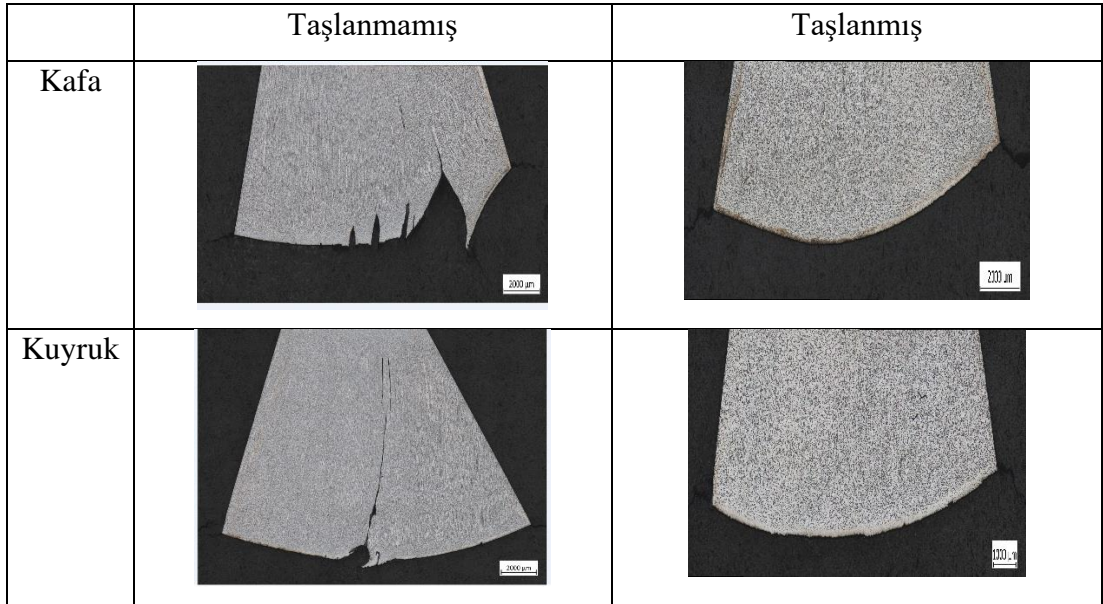
Şekil 6.3. (a) kafa ve (b) kuyruk kısımlarının basma testi sonuçları

### 6.3. LOAD CELL İÇERMİYEN PRES İLE BASMA TESTİ

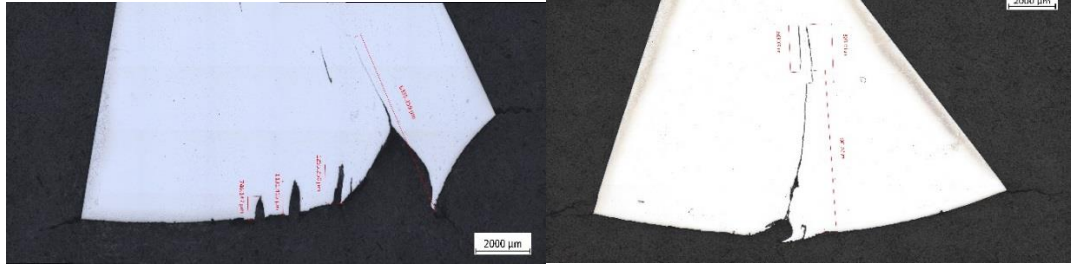
Load cell içermeyen hidrolik pres yardımı ile gerçekleştirilen basma testi sonrası numunelere gözle muayene yapılmış olup Şekil 6.5.'de basılmış numunelerin makro görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.4'den gözlemlendiği gibi taşlanmamış numunelerde numunenin yayılma yüzeylerinde kırılma hasarı gözlenirken taşlanmış kütüklerin yardımı ile üretilen yarı ürünlerin basma deneyi sonrası yüzeylerinde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Şekil 6.5'de, basma deneyi uygulanmış numunelerin mikro görüntüleri yer almaktadır. Taşlanmamış mamullerin mikrogörüntülerinden anlaşılacağı üzere kuyruk kısmındaki çatlak derinliği 9mm iken kafa kısmındaki çatlak derinliği 6 mm'nin altındadır (Şekil 6.6). Çatlak boyutunun yüksek olması yük taşıma kabiliyetinin düşük olduğunu göstermektedir. Şekil 6.3'de taşlanmış kuyruk ile taşlanmamış kuyruk arasındaki yük farkı bu nedenledir.



Şekil 6.4. Pres yardımı ile basılmış numunelerin makro görüntüleri.



Şekil 6.5. Pres yardımı ile basılmış numunelerin mikro görüntüleri.



(a)

(b)

Şekil 6.6. (a) Kafa ve (b) Kuyruk kısımlarındaki çatlak boyutları.

Şekil 6.6’da hasara uğramış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 6.7’de verilmiştir.

		Büyütme	
		Düşük	Yüksek
Kafa			
Kuyruk			

Şekil 6.7. Yüksek Büyütmedeki SEM Görüntüleri

Şekil 6.7’de verilen yüksek büyütmedeki SEM görüntülerde yer alan inklüzyonların EDS analiz sonuçları, istenmeyen bu yapıların yüksek oranda oksijen, demir, fosfor ve mangan içerdiğini göstermiştir. Buda sürekli döküm anında curuf sıkışması ve oksijenle reaksiyona girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## BÖLÜM 6

### GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Mn ve B ihtiva eden 17MnB3 kalite kangalların inklüzyonsuz üretmek için kütüklere uygulanan taşlama işleminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- Kütük yarı mamullerin mikroyapısı bantlaşmış olup sürekli döküm yönünde uzarken kangal mamullerin mikroyapısı taneli ferrit+perlit yapısındadır.
- Load Cell ile basma sonucunda taşlanmış numunelerin taşıdığı yükler taşlanmamış numunelerin taşıdığı yüklerden büyük olup kuyruk kısmından alınan taşlanmamış ve taşlanmış numunelerin yükleri arasındaki fark daha büyüktür.
- Load cell içermeyen pres ile yapılan basma deneyleri sonucu taşlanmamış mamullerden hazırlanan numunelerin çatlamıştır. Taşlanmamış ve taşlanmış numunelere basma sırasında % 66 olarak eşit oranda ezme uygulanmasına rağmen kafa kısmında oluşan çatlak kuyruk kısmında oluşan çatlaktan daha kısadır.
- Çatlakların SEM mikroyapıları üzerinden yapılan EDS analizleri kırık yüzeydeki inklüzyonların oksijen, demir, fosfor ve mangan içerdiği bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

1. Elsaiedy A.B., AbouOmar M.A., “A Review On Causes Of Internal Defects In Continuous Casting”, *Materials Science And Engineering*, A173, Pages 275-285. (1993).
2. Madias J.,Moreno A and Genzano C, “Billet Defects: Pin-Hole And Blow-Hole Formation” , *Prevention And Evolution Technical contribution to the 46° Seminário de Aciaria – Internacional*, part of the ABM Week, Brazil., (2015).
3. Genzano C., Pablo L., and Madias J., “Minimization Of Surface Defects On Bars And Wire Rod Originated In Billet Casting”, *34. Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais*. Pages. 386-395., (2003).
4. Dekate D., Deshmukh B.D and Khedkar S, “Study and Minimization of Surface Defects on Bars and Wire Rod Originated in Continuous Cast Billets”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* Volume 3, Issue.2, pages-736-738 (2013).
5. Santillana B,Dziuba M., Madias J., Oropeza M. and Fernández E., “Minimization Of Slag Entrapment And Cold Drops In Sidetur Billets” , *Ironmaking & Steelmaking* , Volume 30, Pages. 511-515 (2003).
6. Mori H,Tanaka N and Hirai M, “Entrapped Scum and Pinholes in Continuously-Cast Carbon Steel Billets” , *Tetsu-to-Hagane*, Volume 57, Issue 9, Pages 1500-1513. (1971).
7. Madias J. , Genzano C., Oropeza M. and Carlos Moss. “ A Review of Defects in Beam Blank Casting and the Measures Proposed for Their Elimination” , *Iron and Steel Technology 15(8):130-138, 48° Seminário de Aciaria, Fundação e Metalurgia de Não-Ferrosos*. Volume 48, (2017).
8. Anonim., “ Kardemir Eğitim Notları”, *Döküm Kusurları Ve Nedenleri*, (2017).
9. Casco S., Coldebella M., “Tyrolit Introduction to Grinding Processes”, *Companies Brochure, 43 °. Seminario De Aciaria Steelmaking Seminar*. (2008).
10. Casco S., Coldebella M, Latest Developments For Slab Surface Conditioning: Innovation In Slab Grinding, *43. Steelmaking Seminar- International* (2008).

## ÖZGEÇMİŞ

Nuri ÖZTEKİN 2007 Yılında Safranbolu Lisesinden mezun olmuştur. 2008 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. 2013 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2014 yılından itibaren Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak iş hayatına atılmıştır. 2021 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.