

# Sıcak Şerit Haddedelemde İş Merdane Malzemeleri ve Hadde Merdanesi Döküm Yöntemleri

## Work Roll Materials For Hot Strip Milling and Casting Methods of Rolling Roll

Şadi KARAGÖZ \*, Onur BİRBAŞAR ve Alper KAYA

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 41040, Kocaeli

Geliş Tarihi/Received : 16.06.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 14.07.2009

### ÖZET

En etkili üretim proseslerinden biri olan haddelemeyi gerçekleştirmek için kullanılacak malzemelerin seçimi ve bu malzemelerin merdanenin özelliklerine etkisi önemli bir parametredir. Aynı zamanda uygun malzeme ile çeşitli üretim metotlarının kullanılması da bu özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hangi uygulamalarda ne çeşit bileşimde merdane malzemesine ihtiyaç bulunduğunu anlamak için, haddeme koşulları ile merdane malzemesi bileşimlerinin ve özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada klasik malzemelerden, son zamanlarda geliştirilen malzemelere kadar olan gelişmenin değerlendirilmesi sunulmuş ve bi-metal merdane üretim teknolojileri irdelenmiştir. Ayrıca deneysel olarak dökümü gerçekleştirilen perlitik ve martenzitik merdane mikroyapıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile mikroyapı oluşumlarının merdaneden beklenen özellikler üzerine etkileri analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** *Haddeme, Merdane malzemeleri, Sıcak şerit haddeme, Bi-metal döküm, Mikroyapı.*

### ABSTRACT

The selection of materials for rolling, which is one of the powerful manufacturing process and the influence of these materials on the roll properties is an important factor. Also, the use of suitable material and various manufacturing technologies affect these characteristics. To understand that which roll grade is needed for which application, the rolling conditions, the roll grades and their properties should be known. In this work the evolution of roll materials from classical materials up to recently developed materials are presented and bimetallic roll technologies are investigated. Furthermore, experimentally cast pearlitic and martensitic roll microstructures were examined. The influence of microstructural phases on the roll properties were analyzed with the results of mechanical and microstructural observations.

**Keywords :** *Rolling, Roll materials, Hot strip mill, Bimetallic casting, Microstructure.*

### 1. GİRİŞ

Sıcak haddeme, kaliteli ürün elde etmeye yönelik yeni teknolojilerin ve kaliteyi yükseltici tekniklerin sürekli geliştirildiği bir alan olarak çelik endüstrisinde yerini bulmaktadır. Aşınma direnci, yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve termal yorulma gibi mekanik özelliklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü haddelenmiş şeritlerin daha küçük kalınlıkta,

daha pürüzsüz yüzeyde ve daha yüksek mukavemette olması gerektiği durumlarda haddeme koşulları zorlayıcı bir konuma gelmektedir (Lee v.d., 1997).

Sıcak şerit haddedelemde kaba haddemenin gerçekleştirildiği tezgahlar ile bitirme grubu merdaneler bulunmaktadır. Her bir kademede haddeme esnasında farklı etkiler gerçekleştiği için farklı malzeme gruplarına

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : karagoez@kocaeli.edu.tr (Ş. Karagöz)

ihtiyaç bulunmaktadır. Merdane malzemeleri bu ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmekte ve kullanım yerleri belirlenmektedir.

Kaba haddelemede karbür ile geliştirilmiş yüksek kromlu çelikler, düşük karbonlu çelikler, krom bazlı yüksek hız çelikleri ve diğer yüksek hız çelik grupları konvensiyonel yüksek kromlu çeliklerin yerini almaya başlamıştır (Ziehenberger ve Windhager, 2007). Şerit haddelemede tezgahlarında ise yüksek kromlu dökme demirden karbür ile geliştirilmiş yüksek kromlu dökme demire, krom bazlı yüksek hız çeliğine ve çeşitli yüksek hız çeliği gruplarına doğru bir gelişme gözlemlenmektedir. En son bitirme

işlemlerinde kullanılan merdanelerdeki durum ise oldukça farklıdır. Konvensiyonel belirsiz çil merdaneler uzun yıllardır kullanılmaktaydı, ancak son zamanlarda bu malzeme büyük ölçüde karbürler ile geliştirilmiş belirsiz çil merdaneler ile yer değiştirmektedir. Grafit içerikli yüksek kromlu dökme demirler ve kabuk kısmındaki grafitsiz merdaneler bazı yerlerde kullanılmaktadır. Son yıllarda sıcak şerit haddelemede kullanılan hadde merdanelerinde değişimler gerçekleşmiştir. Şekil 1'de kovansiyonel sıcak şerit haddelemede kullanılan merdane malzemelerinin gelişimi gösterilmektedir (Ziehenberger ve Windhager, 2007).



Şekil 1. Sıcak şerit haddelemede iş merdaneleri.

## 2. İŞ MERDANE MALZEMELERİ

İş merdane malzemeleri Fe-C diyagramında % 0.5-% 3.5 karbon seviyesinde geniş bir alanı kaplamaktadır. Eklenen alaşım elementlerinin

miktarlarına bağlı olarak en uygun mikroyapı karakteristiği çelik yada dökme demir olarak karşımıza çıkar. Kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir (Tremea v.d., 2007).

Tablo 1. İş merdanelerinde kullanılan malzemelerdeki temel elementler (Kütle-%).

Malzeme	C	Cr	W*	V	Diğer
Orta alaşımlı HSS	0.6-1.0	3-6	4-7	0-1	Nb
Yüksek kromlu çelik	1.2-1.6	10-14	4-8	<0.5	-
HSS	1.2-2.2	3-6	4-10	3-6	Nb
Yüksek kromlu dökme demir	2.4-2.8	14-18	2-6	<3	Nb
Belirsiz çil dökme demir	3.2-4.2**	1.5-2.0	<1	<2	Ni, Nb

\* : W eş=W+2Mo, \*\*:C eş= C+1/3Si.

Bu malzemelerin hepsi yüksek oranda karbür oluşturu elementler ile alaşımlandırılır. Bu karbür oluşumları, yüksek sıcaklıklarda optimum mekanik ve teknolojik özellikler sağlayan bir

mikroyapı sunmaktadır. Genel olarak mikroyapı, birbirleriyle az yada çok bağlantılı ötektik karbürlerle çevrelenmiş temperlenmiş martenzit ile karakterize edilir (Tremea v.d., 2007).

## 2. 1. Orta Alaşımli Yüksek Hız Çeliği (Semi HSS)

Alaşımlandırılmış martenzitik matriks ile birbirine bağlantılı olmayan ötektik krom karbürler ( $M_7C_3$ ) yüksek sıcaklıkta çeliğe optimum özellikler vermektedir. Bu malzemenin en göze çarpan özelliği termal yorulma direncinin yüksek olmasıdır. Mikroyapı % 2-4 krom karbür ( $Cr_7C_3$ ) ile temperlenmiş martenzitik matriksten (750-800 HV0,1) oluşmakta ve genel sertliği 626-684 kg/mm<sup>2</sup> dir.

## 2. 2. Yüksek Kromlu Çelik

Karbon ve krom içerikleri önemli miktarda ötektik  $M_7C_3$  karbürler oluşturur. Vanadyum ve molibden gibi diğer elementler martenzitik matriksin termal yumuşama direncini artırma amacıyla katılırlar ve böylece aşınmaya karşı direnci artırıcı etkide bulunurlar. Mikroyapı % 8-12 krom karbür ( $Cr_7C_3$ ) ile temperlenmiş martenzitik matriksten (650-750 HV0,1) oluşmakta ve genel merdane sertliği 531-684 kg/mm<sup>2</sup> değerindedir.

## 2. 3. HSS

Bu tür çeliklerde karbon, farklı karbür yapıcı elementlerle birleşerek mikroyapıyı oldukça değiştirir. Mikroyapıdaki birincil karbürlerin tipi ve miktarı, nihai mikroyapı karakteristiğini büyük oranda etkilemekte ve yapılacak ısı işlemin optimizasyonunda da önemli rol oynamaktadırlar. Bu tür merdane üretiminde döküm sonrası östenitleştirme ve havada soğutma ile bunu takiben bir veya iki temperleme yapılmaktadır. İlk temperlemede kalıntı östenit giderimi ve ikinci temperlemede matrikste küçük boyutlu karbürlerin çökmesi sağlanmaktadır (Lee v.d., 2001.). Bu çeliklerin en güçlü noktası aşınma dirençleridir (Tremea v.d., 2007). Mikroyapı % 6-15 oranında  $M_xC_x$  bileşiminde karbürler ile temperlenmiş martenzitik matriksten (650-800 HV0,1) oluşmakta ve genel merdane sertliği 626-696 kg/mm'dir.

## 2. 4. Yüksek Kromlu Dökme Demir

Bu beyaz dökme demir ailesi haddedeleme sırasındaki aşınmaya karşı iyi direnç gösterir. Sahip oldukları mükemmel aşınma dirençleri yapıda yüksek miktarda bulunan 1200-1400 HV sertlik değerine sahip sert  $M_7C_3$  tipi karbürlerden gelmektedir (Kim v.d., 2006). Kimyasal kompozisyondaki küçük değişimler ya da uy-

gun ısı işlemlerle spesifik haddedeleme durumları karşılanabilecek hale gelir. Yüksek kromlu dökme demir merdanelerde karbür artışı, martenzitik matriksli merdane kabuk yapısının temel karakteristiklerini değiştirmeden daha yüksek yüzey sertliği sağlamaktadır. Birçok halde yüksek kromlu dökme demirler şerit haddedeleme işlemlerinden en iyi sonucu vermeyebilirler. Belirsiz çil merdaneleri ile kıyaslandığında, serbest grafit azlığı ve krom bazlı ötektik karbürlerin yüksek sertliğinden dolayı aşınma dirençleri daha iyidir. Ancak yüksek karbür oranları termal yorulmaya ve çatlak oluşumuna karşı direnci düşürmektedir. Düşük karbür içeriklerinde termal yorulmaya karşı dirençte artış meydana gelecektir (Brandner v.d., 2008).

## 2. 5. Belirsiz Çil Dökme Demir (Indefinite Chill Iron).

Bu tip özel dökme demirlerde grafit ve sementit bir arada bulunmaktadır. Bu tür mikroyapıda grafit yapılmama özelliğini sağlarken, karbürler aşınmaya karşı direnci artırıcı şekilde hareket ederler. Bu dökme demirde vanadyum ve niobyum kullanılması dendritik katılaşma yapısını inceltici etkide bulunur. Bu durum sert MC karbürlerinin bulunuşuyla ilişkili olup merdane yüzey kalitesi ve merdane aşınması durumları için çok ilginç sonuçlar sağlamaktadır (Tremea v.d., 2007).

İş merdanelerinde kullanılan konvensiyonel belirsiz çil dökme demirler çoğunlukla zayıf yüzey kalitesi ve düşük performans göstermektedirler. Bunun nedeni ise kabuk bölgesindeki kaba mikroyapı ve grafit oluşumudur. Savurma döküm ile üretilmiş ve karbür ile geliştirilmiş tipler yüzey kalitesini ve performansını geliştirmede yardımcı olmaktadır (Tremea v.d., 2007).

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3. 1. Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmada dikey savurma döküm yöntemiyle iki farklı merdane malzemesi kabuk kısmı (shell) dökümü gerçekleştirilmiştir. Sfero dökme demir malzemedan perlitik ve martenzitik matriks bileşiminde iki döküm gerçekleştirilmiştir. Dökümü yapılan merdane kompozisyonları Tablo 2'de verilmiş olup literatürde indefinite chill merdaneler olarak isimlendirilmektedirler.

**Tablo 2. Savurma döküm deneysel merdane kompozisyonları.**

Kütle %	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Mg
Perlitik dökme demir	3,58	1,44	0,59	0,46	0,28	2,04	0,05
Martenzitik dökme demir	3,37	1,89	0,12	1,57	0,57	2,43	0,02

Merdane yüzeyi ile aksenal kısımları veya muylu kısımlarında arzu edilen özelliklerin farklı olması nedeniyle değişik malzemelerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır ve bu farklı malzemeler bi-metal döküm yöntemleri ile bir araya getirilmektedirler (Martini, 1999). Merdane çalışması yüzeyini oluşturacak olan kabuk bölgesinin sert bir yapıda, iç kısımları ve muyluları oluşturacak göbek kısmının tok bir yapıda olması çift döküm yöntemiyle farklı metaller kullanarak sağlanır. Endüstride kullanılan çift döküm yöntemleri taşıma, boşaltma ve savurma döküm yöntemleridir (Özdoğan, 1987).

Savurma döküm yönteminde merdane çalışması yüzeyini oluşturacak kabuk metalinin dökümü dönen kokil kalıp içinde gerçekleştirilir. Kalıbın dönme eksenine göre yatay ve dikey olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yatay eksenli savurma dökümde kabuk metali dökümü serbest dönen kokil bir kalıp içinde "L" şeklindeki yolluk sistemiyle yapılır. Kabuk metal dökümü yapıldıktan sonra kalıp düşey konuma getirilerek iç kısmı oluşturacak metal dökülür. Düşey eksenli makinalarda ise hem kabuk, hem de göbek dökümü kalıp düşey konumdayken yapılır. Düşey sistemde merdane malzemesinin katılaşması için uygun döküm ve soğuma koşulları sağlanarak sıkı ve boşluksuz döküm gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede merdane malzemesinde kabuk ve iç kısımlarında herhangi bir büzülme veya boşluk oluşumu gibi hatalara rastlanmamaktadır (Özdoğan, 1987; Martini, 1999).

Savurma dökümde kokil 80-120 G (Gravity) kuvvetlik bir ivme sağlayacak hızda döndürülür. Daha düşük hızlarda metal ayrışması ve katmerleşme görülür. Daha yüksek hızlarda makina titreşimleri arttığından yapıda bozulmalara rastlanabilir. Düşey makinalarda kalıp, döküm sırasında kaldırılmadığından tamamen yere gömülü olabilir ve bu nedenle daha emniyetlidir. Burada kabuk kalınlığı eksen boyunca farklılık gösterebilir ve bu farklılık kalıbın dönme hızına bağlıdır (Özdoğan, 1987; Martini, 1999).

### 3. 2. Mikroyapısal İncelemeler ve Sertlik Testi

Mikroyapı incelemeleri numunelerin çeşitli zımpara kademelerinden geçirilerek parlatılmış konumda ve % 3'lük nital ile dağlanmış konumda gerçekleştirilmiştir. Parlatılmış ve dağlanmış konumda numune mikroyapıları Zeiss Axio-tech 100 tipi ışık mikroskobu ve JEOL 6060 tipi tarama elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Fischerscope HV100 mikrosertlik (Vickers) cihazı ile mikroyapıda bulunan karbür ve matriks sertlikleri 3 sertlik izi ortalaması alınarak ölçülmüştür.

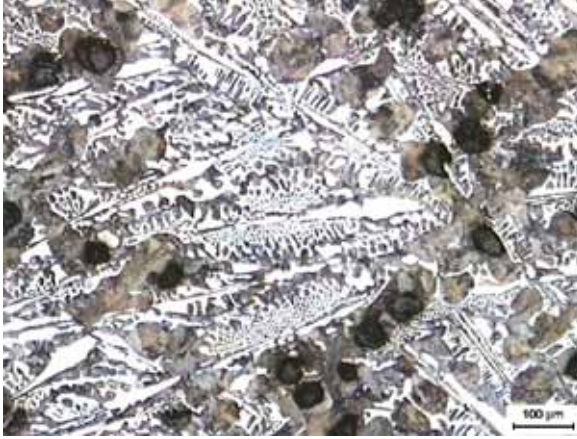
### 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan merdanelerden perlitik olanları döküm sonrası gerilim giderme uygulanmış konumda kullanıldıkları gibi ısı işlem görmüş konumda kullanılmaktadırlar. Isıl işlem ile karbür miktarı ve morfolojisinin değiştirilmesinin yanısıra matriks yapısı da değiştirilebilmektedir. Martenzitik merdanelerde ise döküm sonrası gerilim gidermeyi takiben bir veya iki temperleme kademesi uygulanmaktadır. Döküm halinde matriks martenzit ve kalıntı östenitten oluşmaktadır. Merdaneye uygulanan ilk temperleme ile var olan kalıntı östenitin büyük kısmı martenzite dönüşür. Bunu takiben yapılan ikinci temperleme ile temperlenmiş martenzit elde edilerek malzemenin kırılma tokluğunda iyileşme sağlanmış olur. Bunun yanında temperlemede kalıntı östenitin martenzite dönüşümüyle ortaya çıkan gerilmeler de giderilmiş olur (Lee v.d., 1997).

Şekil 2'de dağlanmış konumda merdanelere ait mikroyapılar verilmiştir. Şekil 2a'da ki ışık mikroskobu görüntüsünde tipik döküm mikroyapısının matriks (açık-koyu kahverengi), ötektik karbürler (aydınlık, beyaz) ve küresel grafitlerden (siyah) oluştuğu görülmektedir. Ergiyik savurma döküm sonucu ilk katılaşmayla beraber dendritik yapı oluşmuştur. Mikroyapıda kahverengi görünen kısımlar dendrit gövdeleri veya ikincil kolları olup perlitte dönüşmüş birincil östenit bölgeleridir. Katılaşma sırasında ötektik sıcaklıkta geri kalan ergiyiğin ledeburitik yapıya



dönüşmesi ile mikroyapıda beyaz olarak görülen demir karbürlerin bu morfolojide oluştuğu görülmektedir. Yine ledeburit yapısını oluşturan östenitler nihai katılaşma sonucunda perlite dönüşmüştür. Bunun yanında mikroyapıda yeralan küresel grafitler siyah renkte görülmektedir. Şekil 2b'de martenzitik dökme demir merdaneye ait mikroyapı görüntüsünde doğal ledeburitik katılaşmış sementit, martenzitik matriks ve küresel grafitler görülmektedir. Bu tür merdane bileşimlerinde nikel ve molibden katkısıyla matriks beynitik veya martenzitik olabilmektedir (Schröder, 2003).



a) Perlitik numune.

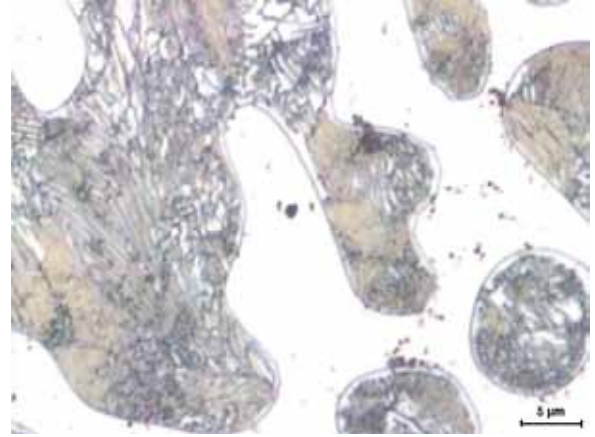


b) Martenzitik numune.

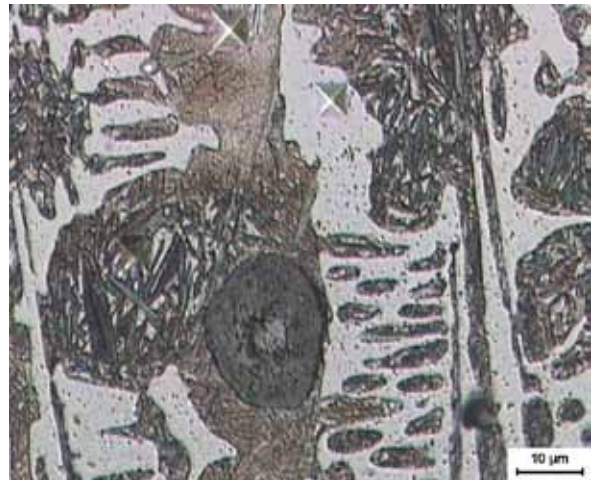
Şekil 2. %3'lük nital ile dağlanmış konumda deneysel numunelere ait mikoyapılar.

Mikroyapıda oluşum gösteren karbür morfolojisinin ve matriks karakteristiklerinin daha net anlaşılması amacıyla Şekil 3'de daha yüksek büyütmelemlerde mikroyapılar sunulmuştur. Şekil3a'da perlitik numunede matriksin perlitik yapısı görülmektedir. Beyaz olarak görünen faz ledeburitteki sementit olup iç kısımlar perlitik matriksi göstermektedir. Perlit içi sementit

yine beyaz olarak görülmekle beraber yer yer kabalaşmış şekilde oluşum sergilemektedir. Şekil 3b'de martenzitik numunede matriksin plaka tipi martenzit yapısına sahip olduğu görülmektedir. Karbür duvarlarından başlayan martenzit oluşumu bu bölgelerde daha sık bir plaka martenzit yapısı sergilerken interdentririk bölgenin iç kısımlarında kaba bir oluşum göstermiştir. Bu bölgede aynı zamanda martenzitik plakaları arasında dönüşmemiş östenit bulunmaktadır. Değişik alanlardan alınan mikrosertlik ölçümleri de bu farklılığı ortaya koymaktadır. Aynı mikroyapıda kaba plaka martenzit-kalıntı östenit bölgesinden, demir karbürden ve ince plaka tipi martenzitik bölgeden 100 g yük kullanılarak alınan mikrosertlik izleri gösterilmiştir. Kaba martenzit bölgesinde sertlik değeri 519,8 kg/mm<sup>2</sup> iken ince plaka martenzit bölgesinde sertlik değeri 611,4 kg/mm<sup>2</sup> elde edilerek mikroyapı oluşumu sertlik ilişkisini doğrulamıştır. Karbür üzerinden alınan sertlik değeri ise 796,8 kg/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.



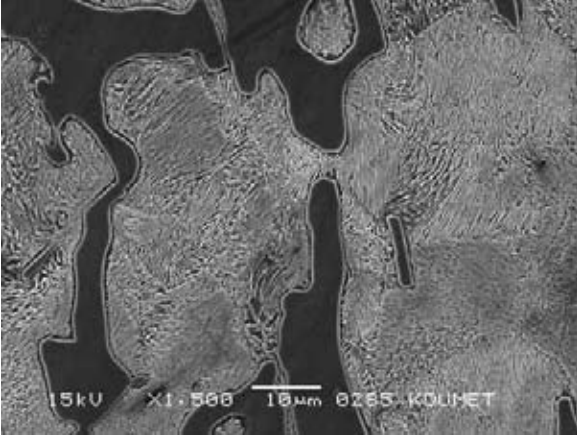
a) Perlitik numune.



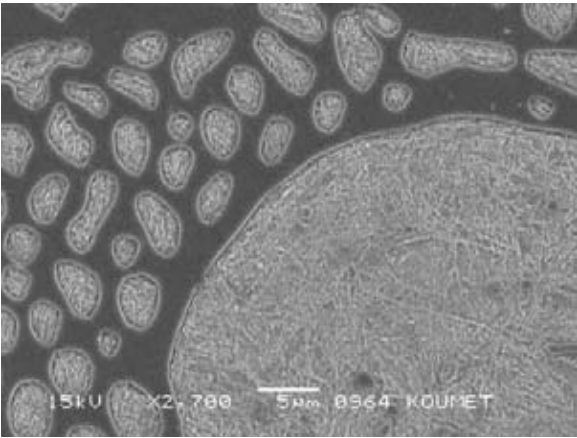
b) Martenzitik numune.

Şekil 3. Deneysel numunelere ait dağlanmış konumda yüksek büyütmelemlerde mikoyapı görüntüleri.

Şekil 4'de numunelere ait elektron mikroskobu görüntüleri sunulmuştur. Şekil 3.a'da perlitik merdaneye ait mikroyapıda koyu gri olarak görünen faz sementit açık alanlar ise matriks perlitini göstermektedir. Matriks içi perlit yapısında sementit lamelleri arası mesafenin yer yer farklılık sergilediği görülmektedir. Genel olarak matriksin ince perlitik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4b'de ise martenzitik merdaneye ait mikroyapı görüntüsünde yine koyu gri olarak görülen faz sementit olup yapıda doğal ledeburitik katılma yapısını sergilemiştir. Beyaz olarak görünen kısımlar ise martenzitik matriksi göstermekte ve yaprak şeklinde yapısıyla martenzit plakaları ince bir dağılım sergilemiştir.



a) Perlitik numune.



b) Martenzitik numune.

**Şekil 4. Perlitik ve martenzitik merdanelere ait matriks morfolojisini gösteren elektron mikroskobu görüntüleri.**

Genel olarak merdane mikroyapılarının yoğun karbürlerin yanında perlitik-martenzitik matriks ve grafitten oluştuğu gözlenmektedir. Karbürler sert olduklarından dolayı merdane mal-

zemesinin aşınma özelliklerini sağlamakta ve malzemeye sertlik kazandırmaktadırlar. Savurma döküm yöntemiyle merdane dış kısmında hızlı katılaşmadan dolayı grafit serbest halde bulunamayıp karbonun büyük kısmı karbür oluşumuna gitmektedir. Aynı zamanda dış kısmında katılaşmanın hızlı olması ince bir yapının oluşumunu ve matriksin sertliğini sağlamaktadır. Bu nedenle merdane dış yüzeyleri yüksek sertlik ve aşınma direncine sahiptirler. Yapıda bulunan grafitler ise merdanenin teması esnasında yağlama görevi görmesinin yanında yerlerinden düştüklerinde merdanenin kavrama özelliğini iyileştirmektedirler. Bunun yanında grafit oluşumuyla beraber katılma esnasında dönüşüm ürünlerinden gelen gerilmelerin de giderilmesi sağlanmış olmaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE İRDELEME

Haddeleme endüstrisinde, merdane çalışma yüzeyinin mikroyapısı ve alaşım içeriği doğrultusunda farklı özelliklere sahip yeni merdane malzemeleri üretmeye yönelik gelişmeler gerçekleşmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda iş merdanesinin verimliliğinin artırılması için en büyük adım mevcut sistemin bırakılarak daha iyi olanın seçilmesidir.

Genel olarak üretimde kaba hadde tezgahlarında yüksek kromlu dökme demir, karbürce zenginleştirilmiş yüksek kromlu dökme demir, düşük alaşımlı HSS, krom içerikli HSS ve diğer HSS bileşimleri kullanılmaktadır. Son kade me tezgahlarda ise yüksek kromlu dökme demirden karbürce zenginleştirilmiş kromlu dökme demir ve

HSS grupları kullanılmaktadır. Yine son grup merdane olarak belirsiz çil ve karbürce zenginleştirilmiş belirsiz çil merdane malzemeleri kullanılmakta ve geliştirilmektedir.

Hadde merdanelerinde çalışma yüzeyini oluşturan kabuk bölgesinin sert bir yapıda, iç kısmını ve muyluları oluşturan gövde kısmının tok bir yapıda olması farklı bileşimde metallerin kullanılmasıyla elde edilebilir. Bu iki farklı malzeme aynı merdanede bir araya getirerek kabuk ve göbeğin farklı bileşimde olması çift döküm teknolojisi ile sağlanır. Endüstride kullanılan merdane çift döküm yöntemlerinden biri olan savurma merdane döküm yönteminde merkezkaç kuvvetiyle sıkı ve boşluksuz dökümler elde

edilir. Döküm için besleyici ve yolluk gerekmemesi metodun en önemli avantajlarından biridir.

## 6. TEŞEKKÜR

Hadde merdanesi üretimi ve numunelerin temini için Anadolu Döküm San. ve Tic. A.Ş. firması sahibi bay Ahmet Kırımtayyif ile fabrika müdürü Sn. Mustafa Günhan AKYÜREK'e candan teşekkür ederiz.

---

## KAYNAKLAR

---

Brandner, M., Windhager, M., Ziehenberger, H.K. 2008. "Improvements in Plate Mill Work Rolls", Saruc Conf., RSA.

Kim, K.C., Lee, S., Jung, J.Y. 2006. "Effects of Heat Treatment on Wear Resistance and Fracture Toughness of Duo-Cast Materials Composed of High-Chromium White Cast Iron and Low-Chromium Steel", METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A, Vol. 37A, p. 633-643.

Lee S., Kim, D. H., Ryu, R. H., Shin, K. 1997. "Correlation of Microstructure and Thermal Fatigue Property of Three Work Rolls", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 28A, pp. 2595-2608.

Lee, J. H., Oh, J.C., Park, J.W., Lee, H.C., Lee, S. 2001. "Effects of Tempering Temperature on Wear Resistance and Surface Roughness of a High Speed Steel Roll", ISIJ International, Vol. 41, No. 8, pp. 859-865.

Martini, A. 1999. "Cast Two-Layer Backup Rolls With a Working Layer of Steel AST70X", Kluwer Academic, pp. 411-413.

Martini, F. 1999. "Main Manufacturing and Service Requirements for the Backup Rolls and Work Rolls of Modern Hot-Strip Mills", Kluwer Academic. p. 365-370.

Özdoğan, N. 1987. Modern merdane döküm yöntemleri. Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Bölümü. Gebze. s. 960-970.

Schröder, K. H. 2003. Work rolls for plate mills and for roughing stands of hot strip Mills/Steckel mills. Austria.

Tremea, A., Biggi, A., Grespi, M. 2007. "Hot Strip mill Centrifuged Work Rolls:Quality and Results", 44th Rolling Seminar, Brazil.

Ziehenberger, K. H., Windhager, M. 2007. "State of the Art Work Rolls for Hot Rolling Flat Products", 3rd Steel Industry Conference and Exposition, México.