

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ/METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

DEMİR – ÇELİK METALURJİSİ

Prof.Dr.Kenan YILDIZ

ŞUBAT 2017

BÖLÜM 1

DEMİR ÇELİK ÜRETİMİNİN KISA TARİHÇESİ

Demir-Çelik endüstrisi, dünyanın en önemli ve gelenek açısından en eski üretim sektörüdür. 3000 yıl kadar önce demir, insanlığın kültür ve medeniyetinde temel teşkil etmekteydi ve cevherden demir elde etme çalışmaları o zaman bile geliştirilmişti. O zamandan bu yana, demir cevherini daha ekonomik olarak kullanılır hale getirmek için enerji kullanımı ve çeşitli tekniklerin bir araya getirilmesi hedefi hep aynıydı.

Demir ve çeliğin daha hacimli olarak üretiminin başlangıcı çok eski zamanlara kadar gitmektedir. Büyük bir ihtimalle demirin üretimi, dünyanın pek çok noktasında (Batı Afrika, Güneydoğu Avrupa, Güney Hindistan, Çin) 1000 yıldan daha önce eş zamanlı olarak keşfedildi. Medeniyetler tarihi önem kazanabilmek için, bu metali silah veya alet haline dönüştürmeleri gerekiyordu. Bunun için de öncelikle nasıl elde edildiğini ve işlenmesi gerektiğini bilmek zorundaydılar.

Tarihte demirin kullanımının, bizim Demir Çağı olarak adlandırdığımız zamanlarda (M.Ö. 8000) başladığı genel olarak üzerinde uzlaşılmıştır. Bugünkü bilgilere göre, demir üretimi Anadolu'da, bir ihtimal de Kafkaslar'ın kuzeyinde başlamıştır. Almanya'da yapılan araştırmalara göre, demir üretiminin başlama tarihi Edda, Wielandsage ve Nibelungenlied gibi efsanevi hikayelere ve destanlara dayanmaktadır. Alman topraklarındaki demirin tarihçesi, çeşitli mızrak ve balta parçalarının bulunmasına dayanılarak M.Ö. ilk bin yıla kadar gittiği anlaşılmaktadır.

İlk kullanılan demirin, dünyaya uzaydan düşen büyük bir meteorun olduğu çok açıktır. Şans, gözlem ve yaratıcılık, yeterli miktarlarda redüklenebilir cevherlerin olduğu yerlerde demirin üretim metotlarının gelişmesine yol açmıştır. O zamanlar bolca bulunan ağaçlar sayesinde bu cevherlerin mangal kömürü ile birlikte ergitilmesi de mümkündü. Demir üretiminin gelişimi, farklı gelişim düzeylerinde ama çeşitli bölgelerde eş zamanlı olarak meydana gelmiştir. Metalin teknik özellikleri ve ekonomik önemi yüzünden, bilgi ve tecrübe çoğu zaman gizli tutulduğundan dolayı, belirli üretim yöntemleri belli bölgelerde kısıtlı kalmıştır. Ancak uzun bir süre sonunda yayılmıştır.

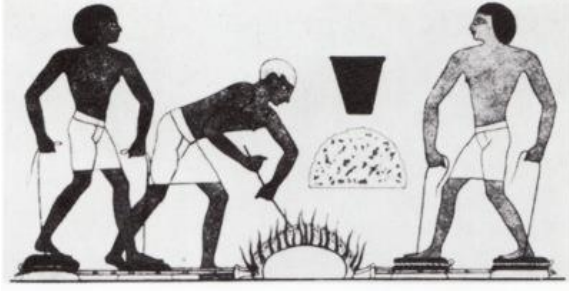
Demir üretiminin gelişimi, çağlar boyunca demir cevherinin farklı ocaklarda ergitilmesi temelinde araştırılabilir. Tarihsel gelişim, kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Demir ocakları (bloomery hearth)
- Demir fırınları (bloomery furnaces)
- Akışkan ocaklar ve odun kömürlü yüksek fırınlar (flowing furnaces and charcoal blast furnaces)
- Kok kömürlü yüksek fırınlar (coke blast furnaces)
- Doğrudan redüksiyon tesisleri (direct reduction facilities)
- İzabe tesisleri (smelting reduction facilities)

Demirci ocakları, kilden, ocak taşlarından veya buzullarla taşınmış kayalardan yapılan alçak kuyulardı. Bu ocaklarda temiz demir cevherleri odun kömürüyle redüklenecek dövülebilir demir haline getirilirdi. Bu işlemde, cevhere yapışmış olan gang, ergitilerek çıkartılırdı. İlk zamanlarda fırınlar doğal hava akımıyla işletilirdi (Şekil 1.1). Daha sonraları elle veya ayakla çalıştırılan körükler yardımıyla gerekli hava sağlandı (Şekil 1.2). Elde edilen ürün dövülebilir demir, cevher ve kömürden oluşan curuf idi. Bu ham demirler, küçük parçalara ayrılarak elle dövülüp, kullanılabilen aletler haline dönüştürüldüler. Bu yöntemde Orta Çağ'a kadar çok az bir değişiklik olmuştur.

Şekil 1.1. 2500 yıl önce Almanya'nın Siegerland bölgesinde demirci ocağında demir üretimi





Şekil 1.2. Yaklaşık 3500 yıl önce Mısır'daki ergitme ateşi. Gerekli ısı, ayaklı körüklerden sağlanan üfleçlerle oluşturulmaktadır.

Kullandığımız takvime göre, 10.Yüzyılda da su değirmeninin geliştirilmesi, demir üretimi teknolojisinde yeni bir çağ yaratmıştır. Suyun gücü, cevherlerin yakın veya uzak olmasını ortadan kaldırmış, demir izabesi vadilere doğru yayılmıştır. Su değirmenleri vasıtasıyla elde edilen yüksek hava basıncı sayesinde daha büyük fırınlar yapılmıştır. Hala ham demir üretimi olarak bilinen ve ağırlığı 100 kg'ı bulan külçeler dövme demir ve curuflardan oluşmaktaydı. Bu tesisler, “demir ocakları” olarak bilinmekteydi (Şekil 1.3). Bu ham demirler, su değirmenleri ile çalışan dövme çekiçleri yoluyla dövülebiliyordu.

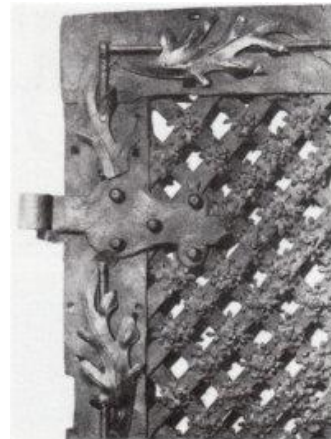


Şekil 1.3. 16.Yüzyılda demirci ocağında demir üretimi

Isı kullanımı giderek daha fazla yaygınlaştığı için, yaklaşık olarak M.S. 12.Yüzyılda demir cevherini ergitebilecek fırınlar üretilmesi mümkün olmaya başlamıştır. Bunlar yüksek fırınların ilk halleriydi. Önceleri hiç istenmeyen çok sıvı ürünler ortaya çıkmıştır. Belki de bu yüzden “pik demiri” (pig iron – domuz demiri) olarak adlandırıldı. Ama bu gelişme, yani sıvı pik demirin elde edilmesi, bu alanda bir çığır açarak modern çelik üretimine geçişte anahtar bir rol oynamıştır.

Sıvı metal üretilen tesislerin ismi önceleri “akışkan fırınlar” idi. Büyüklükleri arttıkça yüksek fırın (blast furnace) terimi iyice yerleşmeye başlamıştır. Bu fırınlar 18.yüzyıla kadar odun kömürü ile çalıştırılmıştır. Geçmişte katı olarak üretildiğinde dövülebilen demir, sıvılaşmış pik demir olarak yüksek karbon içeriği nedeniyle dövülemezdi.

Pik demir, ancak o zaman kullanılan terimlerle “saflaştırıldığında” veya “rafine edildiğinde” kullanılabilir. Bugün hala rafine etme yolunu tercih etmekteyiz. Sonraları, tıpkı günümüzde olduğu gibi ilk olarak karbon ve eser elementlerin fazla hava temini yoluyla oksitlenerek yakılması ile yapılabilmektedir.



Şekil 1.4. 15.yüzyılın sonlarına doğru demir kapı (kapı boyutları 173x91 cm)

Sonuç olarak, bitmiş ürün elde edebilmek için iki operasyon gerekmektedir. Birincisi demir cevherlerinin sıvı metale redüklenmesi, ikincisi de dövülebilir demire rafinasyonu... Yapılan rafinasyon prosesi, rafinasyon veya ham demir ateşleri olarak adlandırılıyordu.

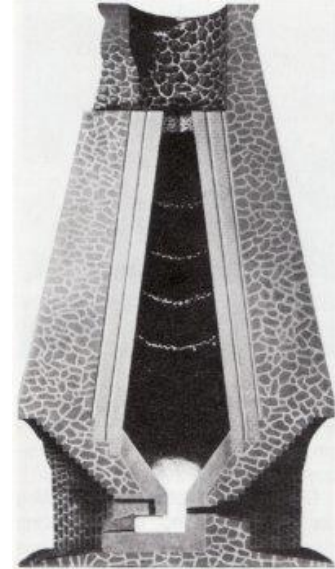
Pik demirin yüksek fırınlarda ticari üretimi 14.yüzyıla kadar gitmektedir. Dövülmüş ürünleri ve sanat eserleri (Şekil 1.4) imalatını bir kenara bırakırsak, dökme demir yaklaşık 1500 lü yıllarda toplar, çanlar, ağırlıklar ve fırın donanımında da (Şekil 1.5) kullanılmaya başlanmıştır.



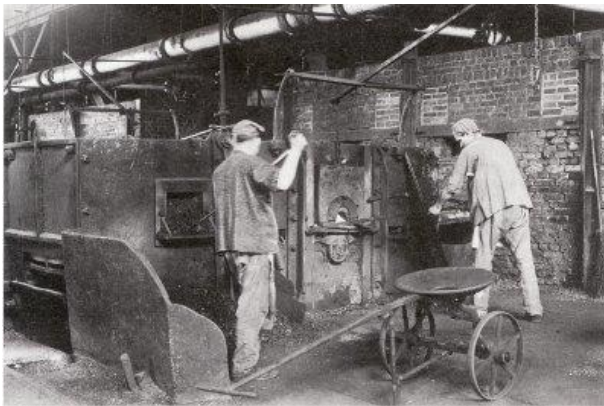
Şekil 1.5. Demir üretim motifleriyle süslenmiş döküm plaka

Kereste kaynaklarının hızla tüketilmesi yüksek fırınlarda koka dönülmesine yol açtı. Bu kömür ilk kez, 1709 yılında A.Darby tarafından o zamanın önde gelen sanayi ülkesi olan İngiltere’de başarılı bir şekilde yüksek fırında kullanılmıştır. 1796’da ilk kok kömürü fırını Almanya’da, Yukarı Silezya’ya bağlı Gleiwitz’de açıldı (Şekil 1.6).

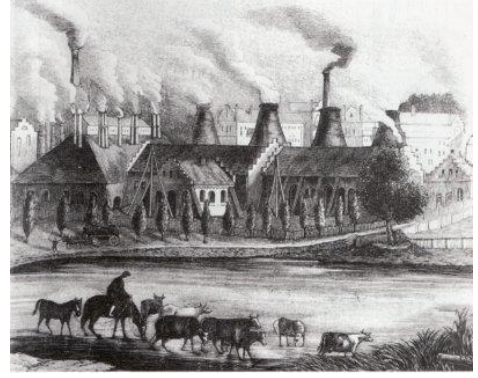
Kok teknolojisi ve buhar motorlarının kullanılmasıyla yüksek fırınların üretkenliği arttı. Ama sonraları çeliğin rafinasyon fırınlarında üretimi ve sonraki şekillendirme operasyonlarında bir darboğaz oluştu. Çözüm, 1784’de İngiltere’de Henry Cort tarafından haddehanelerle bağlantılı olarak “tavlama” kullanımı ile bulunmuştur (Şekil 1.7). Bu yeni teknoloji, demir ve çelikte sadece üretim akışını hızlandırmadı, aynı zamanda özellikle demir üretiminde odun kömüründen koka dönüşümü tamamlamış oldu. Burada öncelik, kömür veya koktan gelen ve istenmeyen kükürdün çeliğe geçmesini önlemektir. Eğer önlenemezse sıcak kırılma veya yırtılmalar oluşmaktaydı. Cort bu yüzden demirin sadece oksijen zengini yanıcı gazlarla temasa geçebileceği bir yansımali (reveratory) fırın tasarlamıştı. Rafinasyon sırasında sıvı metal, çalkalanıp katı bir çelik topuna dönüştürülüp, daha sonra doğrudan haddelemeye gönderilerek şekillendiriliyordu. Şekil 1.8, bu teknolojiye dayalı olarak çalışan tipik bir demir çelik fabrikasını göstermektedir.



Şekil 1.6. 1796’da Gleiwitz’de inşa edilmiş ilk Alman kok yüksek fırını

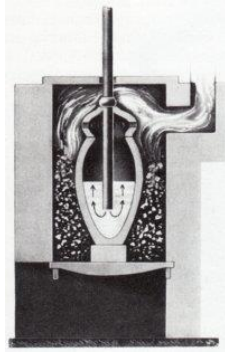


Şekil 1.7. Dörrenberg Edeltahl çelikhanesinin külçe tavlacıları

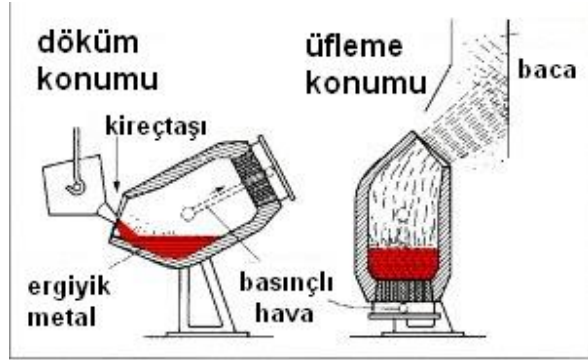


Şekil 1.8. 1840’larda Upper Silesia’da Laurahütte demir tesisleri

Sıvı çelik ilk olarak 1740 da İngiliz B. Huntsman tarafından bir pota prosesi olarak üretildi. Bu üretim, Almanya’da 19.yüzyıla kadar gerçekleşmedi. Kitlel çelik üretim çağı, 1856 yılında başka bir İngiliz olan Henry Bessemer tarafından başlatıldı. Böylelikle ilk defa kok kömürü ile çalışan fırınlardaki sıcak metal üretiminde sağlanmış olan hızlı artış, çok verimli bir teknik ile desteklenebilmekteydi. Bessemer tarafından gerçekleştirilen bu proseste sıvı metale alttan hava enjekte ediliyordu. Bu yöntem, eser elementlerin kolayca oksitlenip egzotermik yanma sürecine dönüşmesine imkan sağlıyordu. İşlemin sonunda homojen bir sıvı çelik elde edilmekteydi. Bessemer prosesi, konverter olarak bilinen armut biçimli bir başka taşıyıcı ile bağlantılı idi (Şekil 1.9). Refrakter astar silisyumlu asit içermekteydi. Bu asidik astar, sadece oldukça düşük fosfor içeren sıvı çelik üretmede uygundu.



Şekil 1.9. Çelik üretiminde kullanılan deney amaçlı Henry Bessemer konverterinin kesidi



Şekil 1.10. Armut biçimli ana Bessemer konverterinin şematik gösterimi;
(sıvı metali rafine etmek için ergiyeğe aşağıdan hava üflenmektedir)

1879 da İngiliz Sidney Gilchrist Thomas, bazik dolomit astarı döşenmiş olan bir konverter ile yüksek fosforlu sıcak metali rafine etmeyi başarmıştır (Şekil 1.10). 1865 yılında çelik üretiminde bir başka etkin yöntem geliştirildi. Yanmış gazların ısısından faydalanarak ısıtma sağlayan ve hazneli olan bu yöntemde de cevher yine sıvı çelik veya hurda çeliğe dönüştürülmekteydi. Bu teknik aslında İngilizce konuşulan ülkelerde açık hazneli (open hearth furnace) fırın olarak bilinse de, onu geliştiren kişilerden dolayı Almanya’da Siemens-Martin olarak biliniyordu. Elektrik enerjisinin yeterli miktarlarda ve ekonomik fiyatlarla kullanılmaya başlanmasıyla, elektrik ile elde edilen ısı, çelik yapımında kullanılmaya başlandı. Bu yönde ilk adımlar 1850 li yıllara kadar gitmektedir. Günümüzde elektrik ark fırınları çelik üretiminde sağlam bir zemin edinmiştir.

Henry Bessemer yüksek saflıktaki oksijeni kullanarak rafinasyon prosesini hızlandıracığının farkındaydı. Ancak o zamanlarda yeterli saflıkta oksijen üretmek mümkün değildi. Bu yüzden bu fikir gerçekçi görünmüyordu. Saf oksijende makul fiyatlara ancak 1930 yılında ulaşılabilirdi. Thomas veya Bessemer yöntemlerindeki alttan üfleme sistemi, ikinci dünya savaşından sonra üstten üfleme oksijenle yer değiştirdi ve Bazik Oksijen Fırını (BOF) çelik üretiminde birden yaygınlaştı. Günümüzde Almanya’da çelik üretimi, BOF prosesi ile (ilk BOF prosesi 1957 yılında çalışmaya başladı) elektrikli çelik fabrikalarında yapılmaktadır. Çeliğin sıcak metal aşaması olmadan üretildiği, orijinal “doğrudan” çelik yapım yöntemi, çeşitli doğrudan redükleme prosesleri ile tekrar önem kazanmaya başladı. Çünkü sıvı metal yüksek karbon içermekteydi ve üretimi metalurjik anlamda dolambaçlı bir yol takip ediyordu.

Çelik üretiminin gelişimi, haddehaneler ve dövme teknolojisiyle 19.yüzyılda hızlı bir gelişme gösterdi. Bu yüzyılın ortalarından itibaren kütleli çelik üretiminin gelişimi, genişleyen sanayi toplumunun taleplerini karşılayabilmek için kitle halinde çelik şekillendirme ihtiyacını da ortaya koydu.

Almanya açısından bahsedilmesi gereken en önemli örneklerden biri ise 1861 yılında yeni buharlı gemiler için itici şaft imal edilmesine imkan veren “Fritz” şahmerdanının geliştirilmesi idi. Aynı şekilde tüp ve borularda olduğu kadar, geniş yassı saclardan zırh plakalarına, köşebentlere, filmaşınlere ve lamalara dek tüm bu ürünlerin üretiminde haddehane teknolojisi anlamında önemli gelişmeler sergilendi. İlk olarak teller, çubuklar ve yassı ürünlerde kullanılmaya başlandı. Sürekli bir şekilde sıcak levha üreten ilk haddehane Almanya’da 1937 de üretime başlarken, ilk soğuk şerit çeken haddehane ise 1953 de işletmeye açılmıştır.

Bu tarihi gelişmeler doğal olarak diğer önemli teknolojik gelişmeler kapsamında değerlendirilmelidir. Çelik üretimindeki büyük ilerleme, yaklaşık olarak 150 yıl önce meydana gelen icatlar ve gelişmelerin sonucu olarak meydana gelmiştir. Buhar makinesinin icadı, demir sanayisine güçlü ve esnek tahrik sistemi sağlamıştır. Bol miktardaki kömürden üretilen kok kömürü ise metalurjik proseslerin azaltılmasında ideal bir yakıt olarak görülmüştür. Demiryolları ve buhar gemilerinin gelişimi ise çelik için büyük pazarlar oluşturmuştur.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

1) ÇELİK REHBERİ (STEELMANUAL, VDEh Çelik Enstitüsü), Çeviri: Hakan KOÇAK (Sağlam Metal), Mayıs 2012

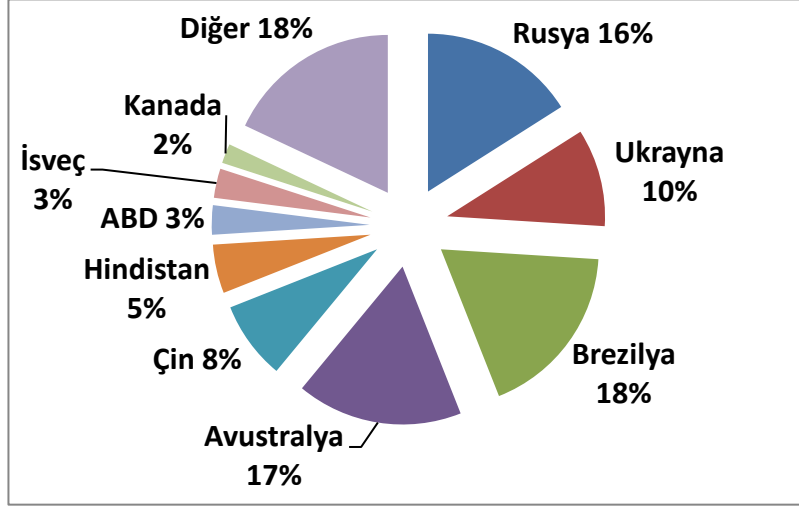
2) <http://195.210.48.207/english/index.asp>

BÖLÜM 2

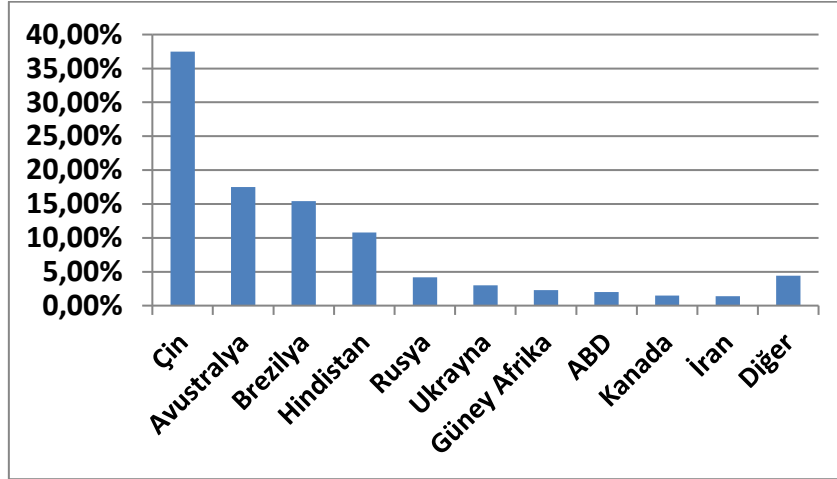
DEMİR ÇELİK ÜRETİM RAKAMLARI

2.1. Dünya Demir Cevheri Rezervleri

Dünya demir cevherlerinin 2010 yılı itibarıyla dağılımı Şekil 2.1 de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere demir cevheri tüm dünya genelinde dağılım göstermektedir. En büyük demir cevheri rezervleri Brezilya, Avustralya ve Rusya'da bulunmakta, bu ülkeleri Çin ve Ukrayna takip etmektedir. Bununla birlikte bu rezervlerin çıkarılıp değerlendirilmesi, diğer bir ifadeyle cevherin üretim payları, ülkelerin rezervleriyle orantılı değildir. Dünyada en çok demir cevheri madenciliği yapan ülke Çin'dir. Bu ülkeyi sırasıyla Avustralya, Brezilya ve Hindistan takip etmektedir. 2010 yılı itibarıyla dünya demir cevheri üretim payları Şekil 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya demir cevheri rezervlerinin dağılımı (2010)

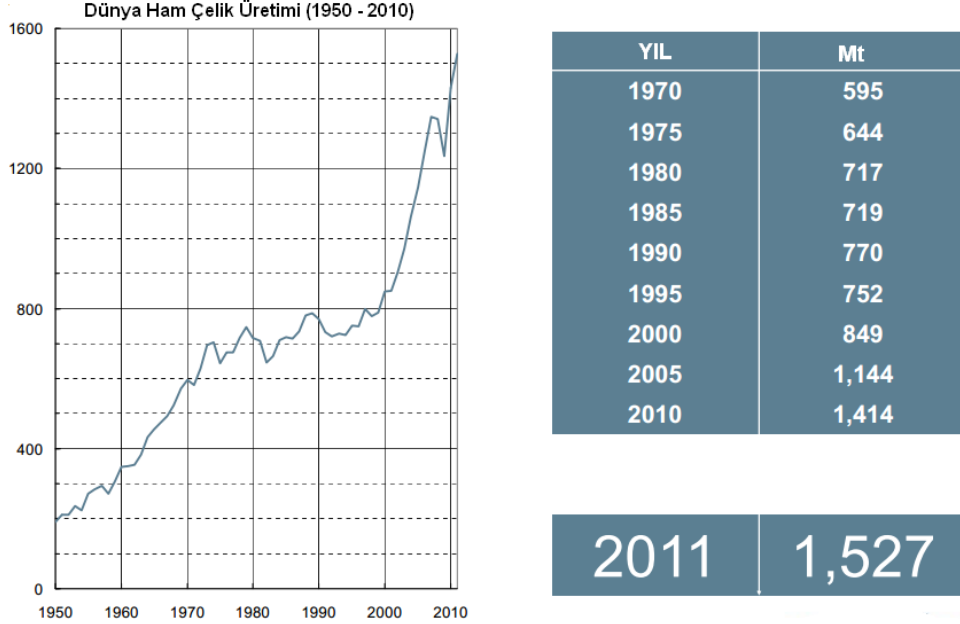


Şekil 2.2. Dünya demir cevheri üretim payları (2010)

2.2. Dünya Demir – Çelik Üretim Rakamları

Dünya ham çelik üretimi, ekonomik büyüme tahminlerine paralel olarak 2011 yılında bir önceki yılın aynı dönemine göre % 6.8'lik artış kaydederek 1527 milyar tona ulaşmıştır. Bu üretimin yarısından fazlası Asya'da gerçekleştirilmiştir. Asya yıllık 988 milyon tonluk üretimiyle 2010 yılına göre %7.9 artış göstermiştir. 2011 yılında bu bölgenin dünya üretimindeki payı %64.7'ye ulaşmıştır. Çin 2011 yılında 695 milyon tonluk üretim gerçekleştirmiştir. Avrupa % 2.8'lik bir artışla 177.4 milyon tonluk üretim kaydetmiştir. 2011 yılında Kuzey Amerika 118.9 milyon ton üretimiyle, üretimini %6.8 artırmıştır. Amerika bu dönemde üretimini % 7 artırarak 86 milyon ton üretim gerçekleştirmiştir. BDT %4'lük artış göstererek 112.6 milyon ton üretim gerçekleştirmiş, bunun 68.7 milyon tonunu Rusya, 35.3 milyon tonunu Ukrayna kaydetmiştir.

Global ekonomideki büyümenin yavaşlaması, hükümet harcamalarının kısıtlanması, mali sıkılaştırma tedbirleri AB'nin dış ticareti üzerinde olumsuz etki yapmıştır. 2011 yılında Çin ekonomisi %9.5, ABD %2 Rusya ise %3.5 büyüme kaydetmiştir. Gelişmiş ülkelerin taleplerinde zayıflama görülmekle beraber, Asya ülkeleri ve gelişmekte olan ülkelerin taleplerinde artış görülmüştür. Türkiye'nin önemli bir pazarı olan AB ülkelerinde çelik tüketimi %7.5 artmakla birlikte, ithal ürünlerin Çelik piyasasındaki payı %21 seviyelerine ulaşmıştır. Bu dönemde Türkiye, AB'ye yönelik yassı çelik ihracatını ciddi bir oranda artırmıştır. Ocak Temmuz döneminde Türkiye AB'ye en fazla sıcak haddelenmiş geniş şerit ihraç eden ülke konumuna gelmiştir. Dünya ham çelik üretim rakamları ve grafiği Şekil 2.3 de verilmiştir.



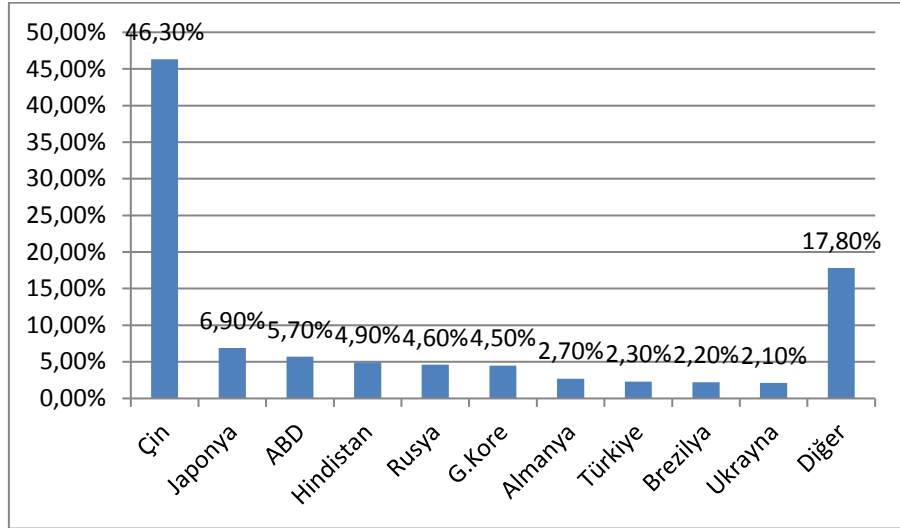
Şekil 2.3. Ham çelik üretim rakamları [www.worldsteel.org]

Tablo 2.1. Dünya ham çelik üretimindeki değişimler [www.sanayi.gov.tr]

	2010	2011	% değişim (10/11)
AB (27 ülke)	172.630	177.443	2,79
Diğer Avrupa Ülkeleri	33.595	37.181	10,67
C.I.S.	108.200	112.434	3,91
Kuzey Amerika	111.406	118.927	6,75
Güney Amerika	43.873	48.357	10,22
Afrika	16.621	13.966	-15,97
Orta Doğu	19.590	20.325	3,75
Asya	903.201	954.190	5,65
Okyanusya	8.149	7.248	-11,06
Dünya (64 ülke)	1.417.264	1.490.060	5,14

Dünya Çelik ticareti 2011 yılının ilk yarısında artmakla beraber, diğer yarısında bir önceki yılın aynı dönemine göre küçük bir azalma kaydetmiştir. 2011 yılında en büyük ihracatçı Çin gerçekleştirmiştir. Bölgesel olarak ticaret dengelerini incelediğimizde NAFTA ülkelerinin (Kuzey Amerika) demir çelik ticareti açığının artmış olduğunu, Avrupa'nın ticaret fazlasından açığa doğru bir dönüşüm gerçekleştirdiğini bazı Asya ülkelerinin ise demir çelik ticaretlerinde fazla verdiği gözlenmiştir.

Şekil 2.4 de ülkelerin 2012 yılında çelik üretim payları verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere çelik üretiminde en büyük pay Çin'de üretilene aittir. Türkiye ise dünya çelik üretiminin yaklaşık %2,3 lük kısmını karşılamakta ve dünyada 2012 yılı itibarı ile 8.sırada bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Dünya çelik üretiminde ülkelerin payları (2012 yılı üretim rakamlarına göre)

Tablo 2.2 de dünyada çelik üretiminde söz sahibi olan firmalar listelenmiştir. Tablodan görüleceği üzere en fazla çelik üretiminin yapılan bölgesin Asya bölgesi (Çin, Kore, Japonya ve Hindistan) olduğu görülmektedir. Dünya çelik üretim lideri ArcelorMittal olup bu firma çelik üretiminin %47 sini Avrupada, %35 ini Amerika kıtasında, %18 ini ise diğer ülkelerde (Kazakistan, Ukrayna, Güney Afrika) gerçekleştirmektedir. Bu firma dünyada 20 den fazla ülkede çelik üretimi yapmaktadır.

Tablo 2.2. Dünya çelik üreticileri (milyon ton)

Sıra	2011	2010	ŞİRKET	Ülke
1	97.2	98.2	ArcelorMittal	Lüksemburg
2	44.4	52.9	Hebei Iron and Steel	Çin
3	43.3	37.0	Baosteel Grubu	Çin
4	39.1	35.4	POSCO	G. Kore
5	37.7	36.6	Wuhan Iron and Steel	Çin
6	33.4	35.0	Nippon Steel	Japonya
7	31.9	30.1	Jiangsu Shagang	Çin
8	30.0	25.8	Shougang	Çin
9	29.9	31.1	JFE	Japonya
10	29.8	22.1	Ansteel	Çin
11	24.0	23.2	Shandong Iron and Steel Group	Çin
12	23.8	23.5	Tata Steel	Hindistan
13	22.0	22.3	United States Steel Corporation	A.B.D.
14	20.5	21.6	Gerdau	Brezilya
15	19.9	18.3	Nucor Corporation	A. B.D

2.2. Türkiye Demir – Çelik Üretim Rakamları

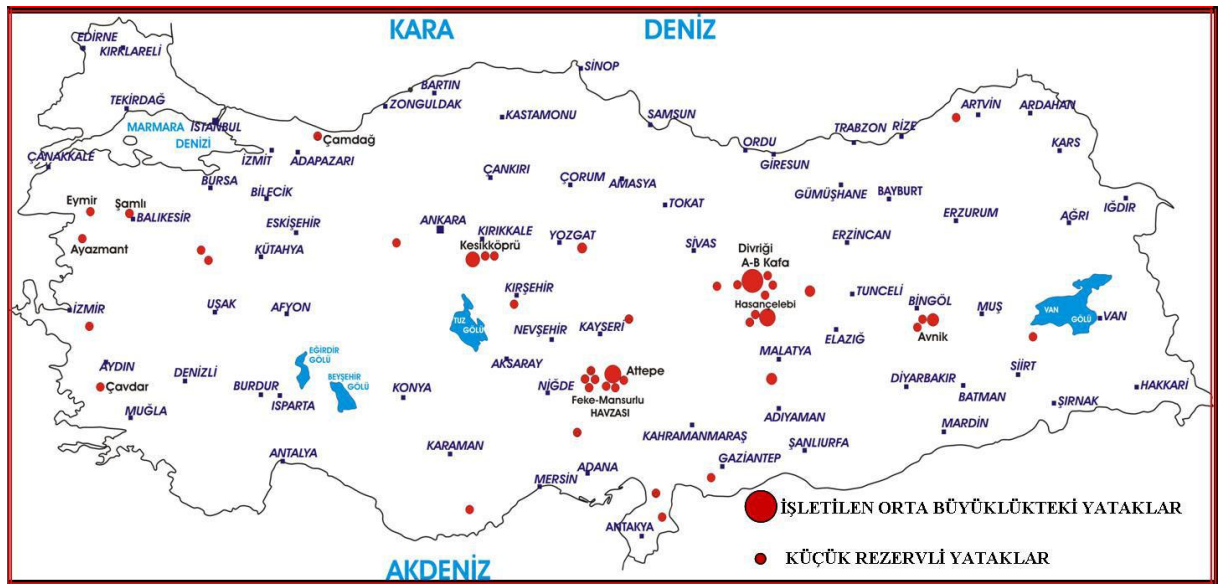
2.2.1. Türkiye Demir Rezervleri

Türkiye’de bu güne değin 900 kadar mınıtkada demir cevheri saptanmış olup, ekonomik olabileceği düşünölen 500 civarında mınıtkada etüt yapılmıştır. Bu çalışmalarda, Türkiye demir cevheri bakımından, 10 bölgeye ayrılmıştır:

1. Sivas-Malatya Bölgesi,
2. Kayseri - Adana Bölgesi,
3. İçel Bölgesi,
4. Payas - Kilis Bölgesi,
5. Giresun Bölgesi,
6. Ankara - Kırşehir Bölgesi,
7. Sakarya - Çamdağ Bölgesi,
8. Çanakkale - Balıkesir Bölgesi,
9. Kütahya Bölgesi,
10. Aydın - İzmir Bölgesi,

Ancak bu bölgelerin demir tenörü ve rezervleri değışkenlik arz etmektedir. Bu nedenle daha sağlıklı bir bölgelendirme aşğıdaki şekilde yapılabilir.

Sivas – Malatya – Erzincan Bölgesi: Bu bölge, halen işletilmekte olan madenlerin büyük kısmını ihtiva etmesi, rezervlerinin büyüklüğü ve ileride değlendirilebilecek düşük tenörlü rezervleri de içermesi nedeniyle, Türkiye’nin en büyük demir cevheri bölgesidir. Halen yüksek tenörlü, direk şarjlık cevher üretim merkezi durumunda olan bu bölgede; 1985 yılında Divriği Konsantrasyon ve pelet tesisleri üretime başlamıştır. Düşük tenörlü Hekimhan-Deveci sideritlerini işlemek için planlana kalsinasyon tesisleri ile yine düşük tenörlü Hekimhan-Hasançelebi manyetit yataklarının işletilmesi için düşünölen Konsantrasyon ve pelet tesislerinin de bu bölgede yer alacak olması, bölgenin uzun yıllar Türkiye demir madencilik bölgesi olacağını göstermektedir. Bu bölgede son yıllarda yapılan çalışmalara önemli rezerv artırıcı gelişmeler kaydedilmiş olup; Divriği A+B Kafa, Dumluca, Bizmişen, Kurudere, Çetinkaya, Otluklise, Deveci, Karakuz, Sivritepe, Hasançelebi bu bölgenin önemli cevher yataklarıdır.



Şekil 2.5. Türkiye demir rezervlerinin dağılımı

Kayseri – Adana – Bölgesi: Türkiye’nin ikinci derecede önemli demir cevheri bölgesi olup, daha ziyade yüksek tenörlü, direk şarjlık cevherler içermektedir. Attepe, Kızıl Menteş, Karaçatıpe, Mağrabeli (Koruyeri),

Elmadagbeli, Ayıdeliği, Kararnadazi ve Tacir demir yataklarının bulunduğu bu bölgede, son yıllarda (1989-1993) MTA tarafından yapılan etüd ve sondajlı aramalar sonucunda Mansurlu-Attepe civarında önemli rezervler ortaya çıkarılmış olup, yeni rezervlerin bulunması beklenmektedir.

Ankara – Kesikköprü Bölgesi: Ankara-Bala, Kırıkkale-Keskin arasında yer alan bölgede; Madentepe, Büyükocak, Camiisağır, ve Camiikebir yatakları bulunmakta olup, uzun yıllardır Karabük Demir Çelik Tesislerine sevkiyat yapılmaktadır

Batı Anadolu Bölgesi: Batı Anadolu Bölgesi demir cevheri yatakları, genellikle yüksek tenörlü, ancak empüriteli cevher ihtiva etmektedir. Bu cevherler ancak diğer cevherler ile harmanlamak suretiyle empüriteleri tolere edilerek kullanılırlar. Bölgede mevcut Şamlı cevheri Cu, Eymir cevheri As ve Ayazmant cevheri Cu ve S yönünden empüritelidir. Ayazmant, Büyük ve Küçük Eymir, Çavdar, Hortuna sahaları bu bölgede bulunmaktadır.

Diğer Bölgeler: Yukarıda söz edilen bölgeler dışında kalan cevher yatakları, belirli bir bölgede toplanamayacak şekilde dağınık olup en önemlisi, Bingöl - Genç - Avnik yatağıdır. Yatak önemli miktarda rezerv olmakla beraber fosfat (P) empüritesi içerdiğinden teknolojik proses gerekmektedir. Ayrıca; Sakarya - Çamdağ (karbonat ve silisli), Payas (yüksek alüminalı), İçel yöresindeki (düşük tenörlü) yataklar, Bitlis - Meşesirtı, Öküzyatağı (Fosfat empüriteli), Adıyaman - Çelikhan - Bulam (Fosfat empüriteli), Kahramanmaraş - Beritdağı (düşük tenörlü), yozgat - Sarıkaya (düşük tenörlü) gibi sorunlu cevher yatakları da teknolojik proses gerektirmektedir.

Tablo 2.3. Türkiye’deki demir cevheri sahaları (www.mta.gov.tr)

YATAK ADI	İL VE İLÇESİ	REZERV (1000 TON)				TENÖR (%Fe)	BULUNUŞ REZERVİ
		GÖRÜNÜR	MUHEMEL	TOPLAM	İŞLETİLEBİLİR		
A Kafa	Sivas- Divriği	41 000	-	41 000	41 000	54	79 900
B Kafa	Sivas-Divriği	10 000	-	10 000	10 000	56	31 500
Dumluca	Sivas-Divriği	200	-	200	200	57	7 800
Purunsur	Sivas-Divriği	100	1 800	1900	100	55	1 945
Taşliktepe	Sivas-Divriği	60	300	360	60	62	360
Otlukilise	Sivas-Divriği	1420	1000	2420	1300	54	12 500
*Çetinkaya	Sivas-Kangal	3500	-	3500	3000	54	8 000
Attepe	Adana-Feke	10 000	-	10 000	10 000	57	34 000
*Karamadazi	Kayseri-Yahyalı	800	1 000	1800	300	51	3 000
Kesikköprü	Ankara-Bala	2 000	1 000	3 000	2 000	54	9000
*Büyükeymir	Balikesir-Havran	3690	5 400	9090	340	53	7 650
Şamlı	Balikesir-Samlı	684	257	941	543	58	1 000
Tacin	Kayseri-Pınarbaşı	70	100	170	70	51	250
Kızıl+Menteş	Kayseri	-	-	-	-	-	3 670
Karaçatı	Yahyalı	9480	15 000	24 480	2 500	54	-
Koruyeri	Kayseri-Yahyalı	7 000	-	7000	7 000	52	8 000
Yenigireği	Adana-Karaisali	40	100	140	40	57	600
Elmadag	Adana	1 000	400	1 400	1 000	53	1 400
Ayigediği	Kayseri-Yahyalı	590	300	890	590	54	1 100
Uyuzpinar	Adana-Feke	236	-	236	236	58	236
Sirzi	Malatya-Hekimhan	275	-	275	275	49	275
Deveci	Malatya-Hekimhan	48 000	-	48 000	48 000	38	88 000
Ekinbaşı	Sivas-Divriği	9 700	2 300	12 000	8 000	55	12 000
TOPLAM		149.845	28.957	178.802	137.54	54	312.186

2.2.2. Türkiye’nin Çelik Üretim Rakamları

2011 yılı itibarıyla, Türkiye 34.1 milyon tonluk üretimiyle 2010 yılına kıyasla ham çelik üretimini % 17 artırmıştır. Bu performansıyla Türkiye Dünya Ham Çelik Üretim sıralamasında ilk 10 ülke arasında yer almıştır. 2011 yılında üretimini % 17.2 oranında artıran sektör, bu dönemde de dünya çelik üretiminde ilk 10 üretici arasına girmiştir. Kütük üretimi miktar bazında % 11 oranında artışla, 22.1 milyon tona, slab üretimi ise, % 36 oranında artışla 8.9 milyon tona yükselmiştir. Nihai mamul üretiminde, 2011 yılında, Türkiye üretimini toplam % 21.5 oranında artışla, 2010 yılındaki 26.30 milyon tondan, 31.9 milyon tona yükseltmiştir. Yeni kapasitelerin de katkısıyla, en yüksek üretim artışı % 36.9 oranında artışla, 6.63 milyon tondan, 9.08 milyon tona ulaşan yassı ürünlerde gözlenmiştir. Aynı dönemde, uzun ürün üretimi ise, % 16.3 oranında artışla, 19.67 milyon tondan, 22.87 milyon tona ulaşmıştır. 2011 yılında, 31.94 milyon tonluk toplam nihai çelik ürünleri üretiminin % 71.6 oranındaki kısmı uzun ürünlerden, % 28.4 oranındaki kısmı yassı ürünlerden oluşmuştur. 2011 yılında elde edilen toplam 5.64 milyon tonluk üretim artışının, % 57 oranındaki kısmı uzun ürünlerde, % 43 oranındaki kısmı yassı ürünlerde gözlenmektedir.

Tablo 2.4. 2011 yılı Türkiye’nin ürünlere göre ham çelik üretimi (1000 t) [www.sanayi.gov.tr]

Türkiye'nin Ürünlere Göre Ham Çelik Üretimi			
	2010	2011	% Değişim (11/10)
Kütük	21.827	24.400	11,8
Slab	7.316	9.707	32,7
TOPLAM	29.143	34.107	17,0
EAO	20.905	25.275	20,9
BOF	8.238	8.832	7,2
TOPLAM	29.143	34.107	17,0

Türkiye'nin, 2015 yılına kadar, yassı-uzun ürün arz-talep dengesizliğinden kaynaklanan sorunları önemli ölçüde geride bırakması ve demir-çelik sektörünün ödemeler dengesi açığını kapatma yönünde önemli katkı sağlaması beklenmektedir. Uzun vadede ise vasıflı, paslanmaz ve yapısal çelik gibi katma değeri yüksek ürünlerin, üretim ve tüketim paylarını arttırması öngörülmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin deprem bölgesinde olması nedeniyle yapısal çeliğe yönelik tüketim alışkanlıklarının yerleşmesi sonucunda ciddi üretim kapasitelerine ulaşması beklenmektedir. Demir çelik sektöründe, başta inşaat ve otomotiv olmak üzere, boru, profil, dayanıklı tüketim eşyası, yakıt araç ve gereçleri imalatı, tarım araçları imalatı, teneke tüketicileri ile gemi inşa sektörüne yönelik üretim yapılmaktadır.

2011 yılında genellikle inşaat sektörü tarafından tüketilen uzun ürünlerde, toplam tüketim %17.7 oranında artışla, 11.66 milyon tondan, 13.72 milyon tona yükselirken, daha çok otomotiv, beyaz eşya, makine sektörleri tarafından tüketilmekte olan yassı ürünlerdeki tüketim artışı ise % 10.6 seviyesinde kalmış ve 13.2 milyon tona ulaşmıştır.



Şekil 2.6. Türkiye Demir – Çelik haritası [www.sanayi.gov.tr]

Ülkemizde ham çelikten nihai mamul üreten üreticiler Marmara, Ege, Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu bölgesinde faaliyet göstermekte olup, üreticilerin çoğunluğu Marmara, Ege, Akdeniz sahil şeridinde yer almaktadır. Demir çelik sektöründe yaklaşık 150'ye yakın firma faaliyet göstermektedir. Bunların içerisinde kapasiteleri 50.000 ton ile 3.500.000 ton arasında değişen Elektrik Ark Ocaklı tesis ile toplam kapasiteleri 8.500.000 ton olan entegre tesis bulunmaktadır. Diğer tesisler ise sadece haddehane hüviyetinde olup, dışardan satın almış oldukları kütük ile profil, filmaşın, nervürlü ve yuvarlak inşaat demiri üreten tesislerdir.

Tablo 2.5. EAO ve BOF bazında hurda ve cevher kullanım rakamları

Girdiler	Elektrik Ark Ocakları (EAO)		Entegre Tesisler (BOF)	
(Mal Bazında)	Yerli (%)	İthal (%)	Yerli (%)	İthal (%)
Hurda	30	70		
Demir cevheri			40	60
Taş Kömürü			10	90

Demir çelik sektöründe, ağırlıklı olarak ithal girdi kullanılmaktadır. Elektrik Ark Ocaklı (EAO) kuruluşlarda hammadde olarak kullanılan hurdanın %70 civarındaki bölümü ithal edilmektedir. 2011 yılında 9,8 milyar (21,5 milyon ton) dolarlık hurda ithal edilmiş ve bu ithalatın büyük bir kısmı ABD, Rusya, Ukrayna ve AB (27) ülkelerinden yapılmıştır. Entegre tesislerde ise, hammadde olarak 1,1 milyar dolar (4 milyon ton) taş kömürü ve 1,2 milyar dolarlık demir cevheri ithal edilmiştir.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

<http://www.northernironcorp.com/canadian-iron-ore-market>
<http://www.dcud.org.tr/>
<http://www.worldsteel.org>
<http://www.sanayi.gov.tr/Files/Documents/demir-celik-raporu-2012-06042012151706.pdf>
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2011-feore.pdf
<http://www.mta.gov.tr>
 Erdemir Madencilik San. Tic. A.Ş.

3.1. Demir – Çelik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Demir – Çelik üretimi için gerekli hammadde ve başlangıç malzemeleri aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir;

- Demir esaslı malzemeler (demir cevheri, hurda)
- Yakıtlar ve redükleyiciler (kok, kömür, gaz vb.)
- Flakslar (curuf yapıcılar) ve ilaveler (alaşım yapıcılar)

3.1.1. Demir Cevherleri

Yerkabuğundaki elementler arasında demir %5.6 bulunma oranı ile oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra dördüncü sırada yer almaktadır.

Demir doğada saf halde yer almayıp kimyasal bileşikler şeklinde bulunmaktadır. En çok rastlanana demir – oksijen (demir oksitler) bileşikleridir. Demir bileşikleri daima “**gang**” olarak bilinen empüriteler ile karışık halde bulunurlar. Bu demir oksit ve gang karışımı ekonomik üretimin mümkün olduğu demir cevherleri olarak sınıflandırılırlar.

Gang bileşimi demir cevherlerinin işlenmesinde önemli bir role sahiptir. Eğer gang yüksek oranda kireç (CaCO_3) içeriyorsa cevher “**bazık**”, silika (SiO_2) oranı daha fazla ise “**asidik**” olarak nitelendirilir.

Demir çelik sektörünün ana hammaddesi demir cevheridir. Bir madenin cevher olarak değerlendirilebilmesi için işletilmesi ve kullanılmasının ekonomik olması gerekmektedir. Çelik sanayiinde kullanılan demir cevherlerinin harman tenörünün en az %57 Fe olması arzu edilmektedir. Demir cevherleri doğada;

- Manyetit (Fe_3O_4),
- Hematit (Fe_2O_3),
- Limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$),
- Götite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),
- Siderit (FeCO_3) ve
- Pirit (FeS_2)

mineralleri şeklinde bulunmaktadır.

Manyetit (Fe_3O_4) ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)

Yüksek oranda demir içeren (%60-70) ve eser elementlerden geniş ölçüde arındırılmış bir demir cevheridir. Gang mineralleri çoğunlukla silis (asidik) içeriklidir. Demir ve oksijen atomlarının manyetit yapısında çok sıkı bağlı olmaları nedeniyle redüklenmesi zordur. İsminden de anlaşılacağı üzere yüksek manyetiklik özelliği gösterir. İsveç, Norveç ve Rusya’da geniş manyetit yatakları mevcuttur.

Hematit (Fe_2O_3)

Düşük fosfor (P) ve kükürt (S) içeriği, silisli (asidik) yapısıyla yüksek demir içeriğine sahiptir. Belirgin kırmızı rengi, demir (üç) oksit içeriğinden kaynaklanmaktadır. Demir-oksijen bağları daha zayıf olduğundan kolay redüklenebilir. İşlenebilir maden yatakları yerkürenin her yerinde bulunabilir.

Limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

Limonit “sulu” olup, demir oksitler su ile kararlı bir bağ oluşturmuştur. Düşük demir konsantrasyonu ile en yaygın bulunan demir cevheridir. Maden işletmesi, maden yatakları çok geniş olduğunda ekonomikliği vardır.



Siderit (FeCO_3)

%30-40 Fe içeriği ile siderit cevheri nispeten kolay redüklenebilir. Çoğunlukla kireç, mangan ve düşük oranda fosfor içerir. En ünlü cevher dağı olan Steiermark (Avusturya), bu tür cevherden oluşmaktadır. Siderit madenleri günümüzde ekonomik olarak önemini yitirmiştir.



Götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) veya $[\text{FeO}(\text{OH})]$

Sulu demir bileşiklerinden biri olan götit, genelde doğada limonit ve hematitle birlikte bulunmakta, önemli bir demir cevheri olarak kabul edilmektedir.



Pirit (FeS_2)

Pirit yaygın ve demir oranı yüksek içermesine rağmen, önemli bir demir kaynağı olarak hiç kullanılmamıştır. Hematit gibi birincil demir cevheri değildir. Kükürt kazanımı amacıyla kullanılan bir cevher olarak kabul edilmektedir.



Demir – Çelik üretim fabrikalarının yüksek fırınlarında kullanılan demir cevherlerine uygulanan en basit kalite kriterleri aşağıda sıralanmıştır;

- demir oranının tipi ve miktarı
- metalurjik özellikler (sinterleme sırasında cevherin davranışı, tane parçalanması vb.)
- redüklenebilirlik
- eser elementlerinin tipi ve miktarı (Al, Mn, P, K, Na)
-

Çok dar aralıkta gang ve istenmeyen eser elementlerini tanımlayan demir cevheri kalite standartlarına artık daha sık rastlanmaktadır. Demir cevherinin değerlendirilmesinde üretim ve sıcak metale (sıvı pik demir) veya doğrudan redüklenmiş demire (DRI) dönüşümündeki maliyetler de önemlidir. İlgili kriterler aşağıda özetlenmiştir;

- cevherlerin demir içeriği
- empüritelerin varlığı (gang)
- tane boyut dağılımı
- maden yatağının genişliği
- cevherin madenden çıkarılma maliyetleri
- maden yatağından üretim tesislerine olan nakliye masrafları

Cevherler hem açık maden işletmesi (Şekil 3.1) hem de yer altı madenleri (Şekil 3.2) şeklinde çıkarılabilirler. Çalışılabilir demir cevheri madenlerinin yüzeye yakın olduğu yerlerde, cevher açık işletme şeklinde çıkarılabilir. Yer altı işletmeciliği demir cevheri çıkarılmasında pahalıya mal olmaktadır.



Şekil 3.1. Açık demir maden işletmesi

Demir madenleri çok nadir olarak madenden doğrudan demir-çelik fabrikalarının stoklarına gönderilirler. Rota genellikle birden fazla yükleme ve uzun taşıma mesafeleri içermektedir. Taşıma işlemlerinden önce gang minerallerinin çoğunluğu giderilerek cevher konsantre hale getirilir. Bu işlem, cevher zenginleştirme olarak bilinmektedir.



Şekil 3.2. Kapalı demir maden işletmesi

3.1.2. Curuf Yapıcılar (Flaks)

Cevherde bulunan gang mineralleri ve kokun külleri, bileşen elementlerine bağlı olarak 1700 – 2000°C gibi yüksek ergime sıcaklıklarına sahiptir. Bu malzemeler yüksek fırının çalışma sıcaklıklarında kolayca ergitilemedikleri için, flaks adı verilen curuf yapıcı malzemeler ilave edilmektedir. Bunlar gangin ergime sıcaklıklarını 1300 – 1400°C ye düşürerek düşük viskoziteli curuf oluşturur.

Curuf yapıcı ilave maddeler ilavesinde metalin ergimesi sonrasında kimyasal olarak birleştiği veya fiziksel olarak karıştığı yabancı maddelerden ayrıştığı metalurjik işlemlere *izabe* adı verilmektedir. Demir izabesinde yabancı maddeler bu her iki durum sürekli mevcut olduğundan ham demir üretimi iki işlem gerektirir:

- 1) metalin bileşik olarak bulunduğu elemanlardan ayrılması (redüksiyon)
- 2) metalin karışım halinde bulunduğu kısımdan (gang) ayrılması

Demir cevherlerinde bulunan ve curufa geçmesi istenen gang mineralleri genelde refrakter özelliktedir, bir diğer ifadeyle kolay reaksiyona girmezler ve yüksek sıcaklıklarda ergirler. Bu gang minerallerinin tam olarak ergimemesi izabe işlemini geciktirir. Bu durumda flaksların birinci görevi, gang minerallerini daha kolay ergir hale getirmek tir.

Cevher içindeki bazı elemanlar, demir ile benzer tarzda redüklenmekte, demir içinde ergimekte ve demir ile bileşik yapmaktadır. Hammadde içerisinde demir ile bileşik yapmış bu elemanlar, demir metali yerine tercih edecekleri başka bir madde bulunmadığı sürece demirden ayrılmayacaktır. Bu durumda flaksların ikinci önemli görevi, gang minerallerinin demir yerine tercih edecekleri bir maddeyi temin etmek ve metalin serbest hale geçmesini sağlamak tır.

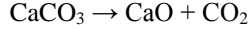
İzabe işlemine giren bütün curuf yapıcı maddeler aralarında bileşikler yapmak için birbirleri ile reaksiyon gerçekleştirmeleri bakımından *asidik* ve *bazik* olarak sınıflandırılırlar. İzabe işlemlerinde yüksek sıcaklıklarda en aktif asidik bileşenler silis ve fosfor, en bazik bileşenler ise kalsiyum, magnezyum ve sodyum bileşikleridir.

Flaksların görevlerinden biri, istenmeyen yabancı maddelerle kimyasal reaksiyona girerek kolay ergiyen curuf yapmak olduğundan, bazik karakterli yabancı maddeleri gidermek için asidik flaks, asidik karakterli yabancı maddeleri gidermek için bazik flaks kullanılmaktadır. Genel olarak asidik ve bazik maddeler arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşan curufun ergime sıcaklığı, curufu oluşturan bileşenlerin ergime sıcaklığından daha düşüktür.

Birçok cevherde asidik ve bazik karakterli yabancı maddeler bulunmasına karşılık, asidik bileşenler (SiO_2 gibi) daha fazladır. Cevherlerde $\text{CaO}+\text{MgO}$ gibi bazik oksitler de bulunmakta, ancak asidik olan SiO_2 yi bağlayacak kadar bulunmamaktadır. Bu nedenle hem silisi hem de fosforu curufa atabilmek için yüksek fırında ham demir üretiminde flaks malzemesi olarak kireçtaşı (CaCO_3) kullanılmaktadır. Kireçtaşı bazik karakterli flaks olup dolomit de ($\text{MgCO}_3.\text{CaCO}_3$) diğer bazik flakslara örnektir. Asidik flakslara örnek silika (SiO_2) verilebilir. Bu flaks malzemesi genelde çelik üretiminde kullanılmaktadır.

Bazik flaks olan kireçtaşı yüksek fırına parça halinde şarj edilebildiği gibi cevherin sinterlenmesi esnasında öğütülerek sinter harmanına katılarak da ilave edilebilir. Bu durumda flaks yüksek fırına şarj edilmeden önce cevherdeki bazı yabancı maddelerle birleşir ve yüksek fırına gerekenden daha az kireçtaşı şarjı sağlanmış olur. Genel olarak sinterleme kullanılacak kireçtaşının tane boyutunun 3 mm'nin altında, yüksek fırında kullanılacak

parça kireçtaşının boyutunun 5-10 cm aralığında olması istenir. Fırının normal çalışması esnasında kireçtaşı aşağıdaki reaksiyona göre parçalanır.



CO₂ gazı fırının yukarı kısmına doğru giderken CaO fırının alt kısımlarında curuf yapıcı olarak görev yapar.

Yüksek fırında kullanılacak kireçtaşının olabildiğine az silika içermesine dikkat edilir. Çelik üretimi esnasında ise kireçtaşı kalsine edilerek yani CaO halinde fırına ilave edilir ki bu maddeye *yanmış kireç* adı verilir.

Alumina da (Al₂O₃) flaks malzemesi olarak nadiren kullanılır. Şartlara bağlı olarak asidik veya bazik karakterli davranabilir. Örneğin yüksek silisli curuflarda *alüminyum silikat*, yüksek CaO bulunan ortamlarda *kalsiyum alüminat* bileşiği oluşturur.

Yüksek fırında kullanılan ve nötr karakterli bir başka flaks malzemesi **Fluşpat** (CaF₂) dır. Bu flaks malzemesinin temel görevi curufu daha akışkan yapmaktır. Fluşpatın genel bir kimyasal bileşimi aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1. Fluşpatın tipik kimyasal bileşimi

Bileşen	%
CaF ₂	81
SiO ₂	4.75
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	1
S	1
CaCO ₃	kalan

Flaks malzemeleri kullanılmadan önce öğütülür ve kurutulurlar. Tane boyutlarının küçük olması, tanelerin yüzey alanının artmasına neden olduğundan daha kolay reaksiyona girmesini sağlarlar. Bu nedenle tane boyutu bu tür reaksiyonlarda önemlidir.

3.1.3. Metalurjik Kok

Redükleyici malzemeler yüksek fırında demir cevherinin işlenmesinde kullanılır. Em önemli redükleyici madde kok kömürüdür. Metalurjik kok üretimi daha detaylı olarak Bölüm 4’de anlatılacaktır.

3.2. Ön İşlemler

Modern ve yüksek performanslı yüksek fırın üretimleri, cevherin redüklenebilirliğinin artırılması ile gerçekleşmektedir. Bu ön hazırlıklar, yüksek fırın şarj malzemelerinin *aglomerasyonu* olarak adlandırılan ön işlemlerdir. Genel olarak bu aglomerasyon işlemi sinterleme veya peletleme ile sağlanmaktadır. Bir başka aglomerasyon işlemi ise briketlemedir. Aglomerasyon işleminin 2 temel amacı vardır;

- 1) Boyut büyütme
- 2) Mukavemet ve geçirgenliği artırma

Çok küçük cevher parçacıklarının yüksek fırına şarj edilmesi uygun değildir. Bunun nedeni, küçük partiküller fırın içerisinde reaksiyona girmeden baca gazına karışarak uzaklaşabilecek olmasıdır. Bu yüzden küçük partiküller aglomerasyon işlemiyle daha büyük boyutlu hale getirilirler. Ayrıca aglomerasyon işlemiyle daha boşluklu (poroz) bir yapı elde edilir. Bu sayede özellikle katı – gaz reaksiyonlarında reaksiyon temas alanı artar, redüksiyon daha fazla gerçekleşir.

Aglomerasyon işlemleri sonrasında elde edilen ürünlerde (aglomeratlarda) aranan temel özellikler ise,

- 1) aglomerat tane iriliği
- 2) parçalanma özelliği
- 3) sağlamlık
- 4) porozite
- 5) yoğunluk
- 6) topaklanma özelliği

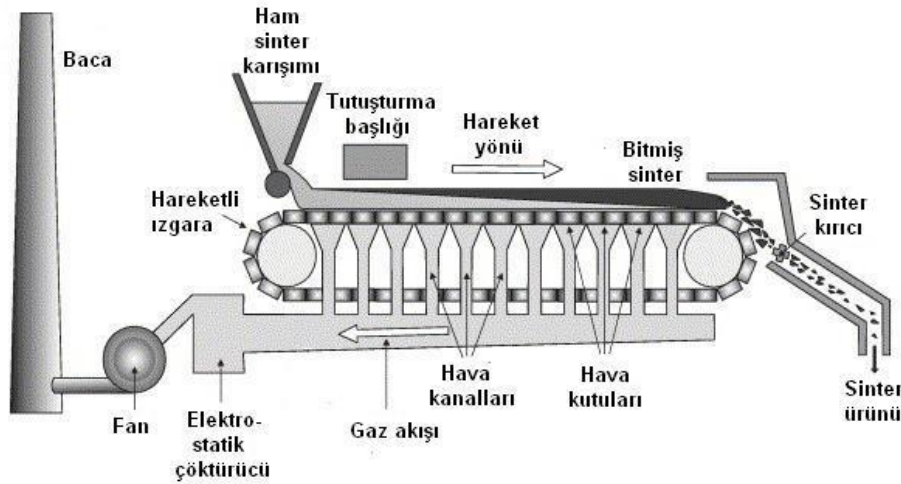
Özellikle düşük tenörlü cevherlerin, cevher zenginleştirme yöntemleriyle tenörlerinin yükseltilmesi, istenmeyen safsızlıkların giderilmesi gibi uygulamalar aglomerasyon işlemlerinin önemini her gün biraz daha arttırmaktadır. Günümüzde demir cevherleri ve konsantrelerine uygulanan aglomerasyon işlemlerinden sinterleme ve peletleme, çok büyük boyutlara ulaşmıştır.

Dünyada yüksek fırın şarjının %50 si sinter, geri kalanı parça cevher ve pelettir. Avrupa'da bu oran %70 sinter, %16 pelet, %14 parça cevherdir.

3.2.1. Sinterleme

Demir cevherlerinin sinterlenmesinde 3 temel amaç vardır. Bunlar;

- 1) Çok küçük boyuttaki yani toz halindeki cevherin yüksek fırına şarj edilebilir hale getirmek
- 2) Cevherde mevcut kükürdü oksit haline dönüştürmek ve kükürt miktarını azaltmak
- 3) Yüksek fırın çalışma şartlarında kullanılabilecek ve indirgenme kabiliyeti yüksek, mukavemetli, ufalanmaya karşı dayanıklı şarj malzemesi elde etmek ve bu sayede üretim verimini artırıp işletme arızalarını en aza indirmek



Şekil 3.3. Sinter prosesinin şematik gösterimi

Bir sinter prosesinde şarj malzemesi;

- Toz halindeki cevher
- Katkı malzemeleri (örn. Kireçtaşı)
- Geri dönüşmüş demir bazlı malzemeler (geri döndürülmüş sinter tozları, toz tutma sistemlerinden gelen tozlar, haddelemeden gelen tufaller vb.)
- Kok tozu (şarjda yanma olayının sağlanması için)

Sinterleme işleminden önce şarj malzemelerinin uygun şekilde karıştırılması gerekmektedir. Toz halindeki cevhere kireçtaşı gibi katkı malzemesi, geri dönüşmüş malzemeler ve yanma olayının gerçekleşmesi için kok tozu ilave edilir ve harman bir karıştırıcıya yüklenir. Burada iyi bir karışım sağlanır, hatta bir miktar küçük peletler de oluşabilmektedir.



Şekil 3.4. Sinter harmanının sinter fırınına ilerlemesi ve yanma bölgesi

Sinter ünitesinde ısıya dayanıklı dökme demirden üretilmiş geniş bir hareket eden ızgara bulunmaktadır. Sinterlenecek malzeme, 3-5 cm kalınlığındaki geri dönüşmüş sinter malzemesinin üzerine yerleştirilmektedir. Altındaki bu tabaka, hem sinter harmanının ızgara boşluklarından aşağıya akmasını önler, hem de ızgarayı yanma ısılarından korur. Modern sinter ünitelerinde sinterlenecek malzeme tabakasının derinliği yaklaşık 40-60 cm arasındadır. Eski tesislerde bu derinlik daha küçüktür.

Izgarada, sinterleme haznesinin başında, harmandaki koku ateşleyecek, yani yanmasını sağlayacak bir tutuşturma kısmı bulunmaktadır. Tutuşma sağlanan harmanların bulunduğu ızgaraların alt kısmındaki hava kanallarından hava emişi yapılarak karışımdaki yanma işleminin (ve dolayısıyla sinterleme işleminin) devam etmesi sağlanır. 250 m² hava emiş alanına sahip veya 3 m genişlikte ızgaraları bulunan sinter tesisleri de bulunmaktadır. Sinter karışımı ızgara boyunca ilerlerken yanma bölgesi karışımda aşağıya doğru ilerlemektedir. Bu durum küçük partikülleri sinterleyerek poröz yapılı bir malzeme olmasına yetecek ısıyı (1300 – 1480°C sıcaklık aralığında) sağlamaktadır.

Sinterleme prosesi esnasında birçok kimyasal ve metalurjik reaksiyon gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar hem sinterin kendisini, hem de toz ve gaz emisyonlarını (yayma, dışarı verme) üretmektedir. Reaksiyonlar üst üste gelişmekte, birbirlerini etkilemekte, sinterleme bölgesinde bulunan katı partiküller, gaz fazı ve ergiyikler arasında katı hal ve heterojen reaksiyonlar meydana gelmektedir. Sinterleme esnasında aşağıdaki prosesler ve reaksiyonlar gerçekleşmektedir;

- Harmandaki nemin buharlaşması
- Temel bileşenlerin ön ısınması ve kalsinasyonu, kokun yanması ve karbon, pirit, klorürlü ve florürlü bileşiklerle ortamdaki oksijen arasındaki reaksiyonların gerçekleşmesi,
- Hidratların dekompozisyonu ve karbonatların ayrışması
- Kalsiyum oksit ile hematit arasında reaksiyon
- Silikat fazı, kalsiyum oksit ve demir oksit fazları arasında ergiyik bir faz oluşturmak ve ergimiş faz oranını arttırmak için gerçekleşen reaksiyon

- Kalsiyum sülfür bileşikleri ile alkali klorür ve metal klorürlerle birlikte florür içeren bileşiklerin oluşumu
- Yüksek sıcaklık bölgesinde demir oksitlerin metalik demire redüksiyonu
- Kokun yanması ve nemin buharlaşmasının etkileriyle boşluk ve kanalların oluşumu
- Sinter soğuması esnasında küçülme ve sertleşme etkileriyle yeniden oksitlenme ve yeniden kristallenme reaksiyonları
- Sinter soğuması esnasında termal gerilmeler nedeniyle çatlakların oluşumu ve sinter yapısında kusurların oluşumu

Elde edilen sinter sıcak halde parçalanır, eleme işlemi yapılır ve soğutma işlemi yapılır. Soğutma işlemi havayla yapılır. Sinter soğutmasında kullanılan hava 300°C ye kadar çıkabilir bu ısınmış hava, sinterleme işleminde kullanılmaktadır. Soğutulmuş sinterde 5 mm den daha küçük parçacıklar sinter harmanında kullanılmak üzere geri gönderilmektedir.



Şekil 3.5. Sinterleme sonrası elde edilen ürün

Sinterler *Asidik sinter* ve *Flakslı sinter* olmak üzere iki türdedir. Asidik sinterler içerisine flaks malzemesi katılmayan sinterlerdir. İçerisinde flaks bulunan ya da sonradan eklenen sinterlere ise flakslı sinter adı verilmektedir.

Asit sinterde sinterlemenin avantajları;

- 1) Tozların sert, kuvvetli ve düzgün süngerimsi parçalar halinde toplanması, iyi yatak geçirgenliği sağlar
- 2) Cevherde varsa kükürt ve arseniğin %60-70 kadarı sinterleme esnasında uzaklaştırılır
- 3) Rutubet ve diğer uçucu bileşenler giderilir
- 4) Yumuşama sıcaklığı artar, yumuşama aralığı daralır.

Flakslı sinterlemedeki avantajlar ise;

- 1) Kireçtaşı sinterleme esnasında kalsine olduğundan yüksek fırında enerji kaybına neden olmaz
- 2) Kireç ilavesi viskoziteyi ve curuf ergime sıcaklığını düşüreceğinden daha az kok kullanılır
- 3) Sinter içindeki kireç, birincil curufun ($\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) ergime sıcaklığının dengeli olmasını sağlar
- 4) Kireç, sinter içindeki silikanın indirgenmesini engeller
- 5) Kireç, sinter içinde *fayalit* (FeO.SiO_2) oluşumunu engeller. Bu maddenin redüksiyonu zordur.
- 6) Asidik sinterle oluşan curufun viskozitesine göre daha düşük viskozite sağlar
- 7) Sinterlenme hızı daha yüksektir
- 8) Fırın üretimini pelete göre daha çok artırır, çünkü daha gözenekli yapıya sahiptir

3.2.2. Peletleme

Tenörleri düşük ve safsızlık miktarları yüksek fırında kullanılamayacak kadar çok olan cevherler, cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutulurlar. Özellikle öğütme işlemlerinde çıkan ve 0.05 mm den küçük tozlar ortaya çıkar. Zenginleştirme sonrası elde edilen bu konsantre ürünlerin yüksek fırına şarj edilmesi uygun değildir. Ayrıca sinterleme prosesinde sinter geçirgenliğini de düşüreceğinden sinter yapmaya da uygun değildirler. Böyle durumlarda konsantre ürünün içerisine katılan bir *bağlayıcı* ile, ayrıca nem ve ısı ile belirli boyutlara getirme işlemine *peletleme* adı verilmektedir.

Toz halindeki demir cevherini peletleme işleminin amacı, aglomerasyon ve sertleştirme yoluyla demir yönünden zengin ince mineralleri pelet olarak tanımlanan (Şekil 3.6) yüksek fırın şarj malzemesi haline getirmektir. Peletler sert ve genelde küresel maddeler olup yüksek fırında kullanılmaları için belirli özellikleri taşımaları gerekmektedir.



Şekil 3.6. Demir peletleri

Peletlerin sahip olması gereken özellikleri;

- 1) Toz, kırıntı ve ince kısımdan arındırılmış olmalı
- 2) Taşınma ve stoklanma sırasında meydana gelebilecek kırılmalara karşı fiziksel dayanıklılığa sahip olmalı
- 3) Yüksek fırında ısıtılırken çeşitli reaksiyonlar sırasında meydana gelebilecek zamansız uflanma karşı direnç gösterecek yapıya sahip olmalı

Peletlenecek cevher ve kaynakları, zenginleştirilmiş düşük tenörlü demir cevheri veya doğrudan yüksek fırına şarj edilmeyen toz halinde bulunan yüksek tenörlü cevherler olabilir.

Peletleme harmanında bulunan demir cevheri fiziksel ve kimyasal açıdan birkaç özellik taşımalıdır. Yapısına göre %60 demir içeren cevherler peletlenebilmektedir. Ancak dünya genelinde %65 den yüksek demir içeren cevherler peletleme işlemine tabi tutulmaktadır. Ham pelet eldesinde en önemli etkenlerden biri cevherin özgül yüzey alanıdır. Cevherin yapısına göre bu değer ortalama 1500 cm²/g veya daha düşük olabilir. Ham pelet eldesinde peletlenecek cevherin %5-10 nem içermesi istenir. Daha düşük veya yüksek nem içeriği peletleme olayına olumsuz etki etmektedir.

Ham peletlerin hazırlanmasında kullanılan ikinci önemli madde bağlayıcıdır. Bağlayıcı maddelerin iki önemli görevi vardır. Bunlar;

- 1) cevher konsantresi içindeki suyu tutmak
- 2) peletlerin ısı işlemi esnasında curuf bağları oluşmadan ön ısıtma işlemleri esnasında parçalanıp dağılmasını önlemek

Peletlemede bağlayıcı kullanım oranları, filtre kekinin (zenginleştirilmiş cevher) nemi ile doğru orantılıdır. Özellikle toprakların büyüme hızı, nem ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle bağlayıcı olarak kullanılan maddeler, suyun akışkanlığını azaltacak nitelikte olmalı, peletlenecek malzemenin yapısal özelliklerini bozmamalı, peletleme işlemindeki diğer bölümlere uyum sağlamalıdır. Ayrıca peletlemede kullanılacak malzeme yeterli miktarda ve kolayca bulunabilmeli, ekonomik olmalıdır.

Bağlayıcı maddeler 3 ana grupta toplanmaktadır.

- İnorganik kimyasal maddeler
- Organik maddeler
- Bentonit

Peletlerde bağlayıcı olarak kullanılan katkı maddeleri hem ham pelet üretiminde serbest suyu kontrol eder hem de kuru peletin dağılmasını önler. İnorganik bağlayıcıların tersine organik bağlayıcılar içinde bulunan bazı maddeler, peletleme işleminin ısı işlem bölümlerinde yok olmakta, ürün peletlerin kimyasal yapısında bulunmamaktadır.

Dünyada gerek bulunabilirliği, gerekse ucuz olması nedeniyle bağlayıcı olarak **bentonit** kullanımı çok yaygındır. Bentonitte genel olarak %58-65 SiO₂, %18-25 Al₂O₃, maks.%6 Fe₂O₃, maks.%4 Na₂O+K₂O, maks.%5 CaO+MgO, maks.%6.5 ateş kaybı bulunmaktadır. Cevher yapısına bağlı olarak %0.5-1 oranında cevher içerisine bağlayıcı katılır. Bentonit, hacminin %10-15 katına kadar su emme özelliğine sahip olup çok ince tane boyutuna

sahiptir. Kurutuldukları zaman dış cidarlarında dayanıklı bir film oluşur. Bentonitin bu özelliği, ham peletteki serbest suyu kontrolde ve ön ısıtma işlemleri sırasında ham peletin dağılmasını önlemede önemli rol oynar. Bununla birlikte cevher bünyesine katılan bentonit, yüksek fırınlar için arzu edilmeyen bir katkı malzemesidir. Bu nedenle cevher içerisine katılan miktar kadar cevherin kalitesini düşürdüğü gibi bünyesinde bulunan silika, alumina ve alkaliilerden dolayı cevherdeki empürte miktarını artırarak yüksek fırın veriminin düşmesine neden olurlar. Her %1 bentonit ilavesi, cevher konsantrisindeki demir tenörünü %0.6 oranında düşmesine neden olur.

Yüksek fırınlarda ürün peletin daha iyi kullanımını sağlamak amacıyla peletleme işlemi sırasında ham pelet elde edilirken, filtre kekine bazı katkı maddeleri katılabilir. Kullanılan bu katkı maddeleri yüksek fırın verimliliğini arttırmaktadır. Bu katkı maddeleri,

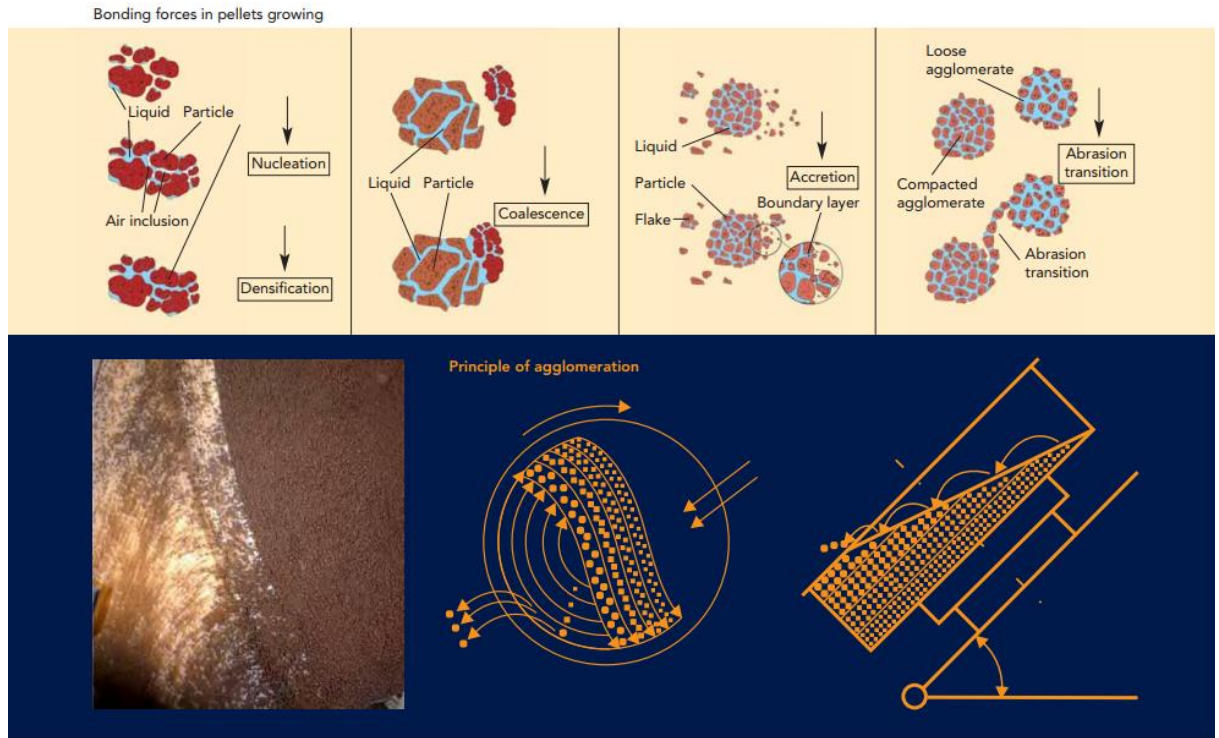
- Olivin
- Kireç + kireçtaşı
- Dolomit

olabilir. Olivinin kimyasal yapısında %48-50 MgO, %41-43 SiO₂, %6.1-6.6 FeO bulunmaktadır. %5 dolaylarında katılan bu katkı malzemesinin miktarının belirlenmesinde peletleme işlemi, ürün peletin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve yüksek fırındaki değişkenler etki etmektedir. Kireçtaşı ve dolomitin de önemli yeri vardır.

Yüksek fırına şarj edilecek cevherin kontrol edilmesi gereken önemli değişkenlerden biri, şarjın asitlik veya baziklik derecesidir. Cevherde bulunan SiO₂ asidik, CaO ve MgO bazik karakterlidir.

Peletleme işlemi iki ana bölümden oluşur:

- 1) **Ham (yaş) pelet üretimi:** zenginleştirilmiş cevherin bağlayıcılar ile karıştırılması ve topaklanması
- 2) **Ürün pelet üretimi:** ham peletin önce ısısal daha sonra soğutma işlemine tabi tutulması



Şekil 3.7. Peletlemede aglomerasyon olayı

Ham pelet üretimi prosesin en önemli aşamasıdır ve bu aşamada mukavemet, boyut, çarpma mukavemeti ve diğer pelet özellikleri tayin edilir. İşlem tambur, koni ve diskler gibi döner cihazlar kullanılarak gerçekleştirilir. Peletlerin topaklanıp bilya şeklini alması, suyun yüzey gerilimi ve parçaların birbirine çarpması sonucu gerçekleşir. Başlangıçta su eklenerek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur, daha çekirdek büyüyerek pelet halini alır. Ham peletleme olayında gerçekleşen aglomerasyon olayı şematik olarak Şekil 3.7 de gösterilmiştir. İnce partiküller bir bağlayıcı ile peletleme haznesine yüklendikten sonra karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Belirli bir açıda dönen pelet haznesinde tozların topaklanması, akabinde belirli bir boyutta gelişen peletlerin ortamdaki

taşması prensibine dayanmaktadır. Şekil 3.8 de disk şeklinde peletleme hazneleri, Şekil 3.9 da ise drum (davul) tipi peletleme haznesi gösterilmiştir.

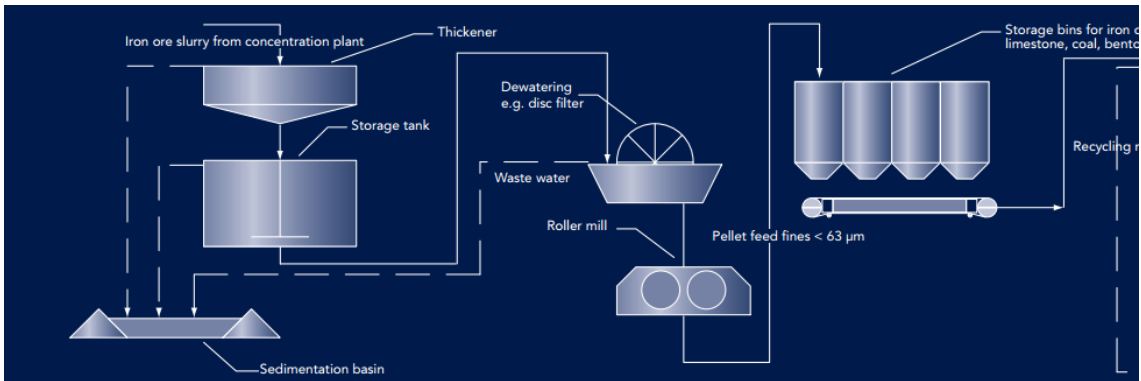


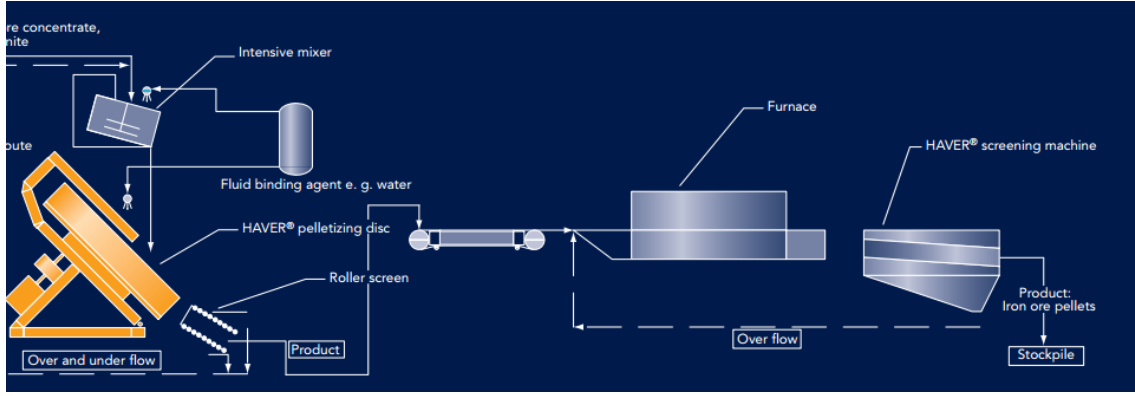
Şekil 3.8. Disk şeklinde peletleme hazneleri



Şekil 3.9. Drum (davul) tipi peletleme hazneleri

Ham pelet üretimi esnasında nem miktarı %5-10 aralığındadır. Ortalama nem miktarı çok önemlidir. Az miktardaki su boşluklara hava girmesine, çok fazla su ise yapıştırıcı özelliğın tahrip olmasına neden olmaktadır.

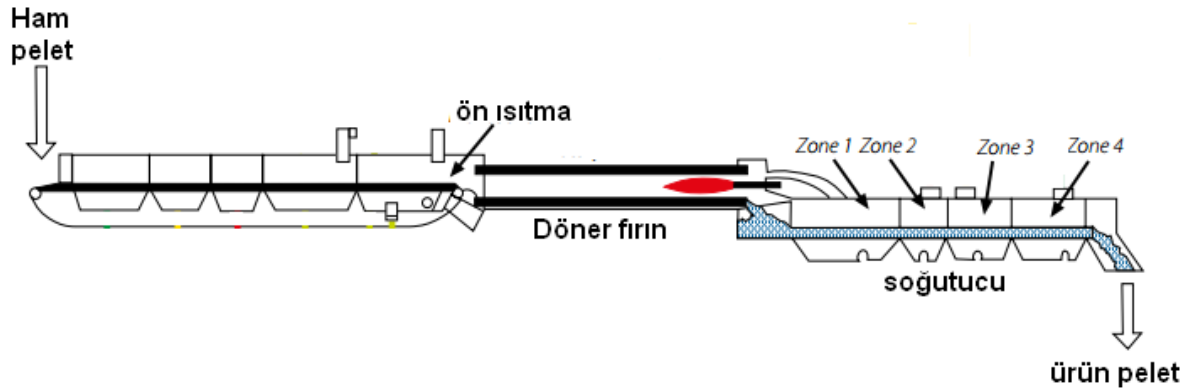




Şekil 3.10. Demir cevherinin peletleme akım şeması



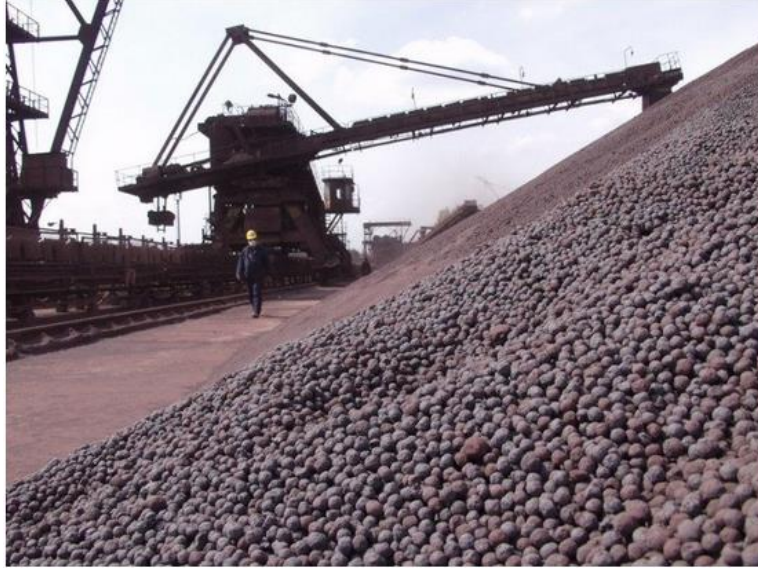
Şekil 3.11. Ham peletlerin pişirildiği fırın



Şekil 3.12. Ham peletten ürün pelet üretim şeması

Ürün pelet üretiminde, diğer bir ifadeyle ham peletlerin pişirilmesi işleminde, döner fırınlar kullanılmaktadır. Bu fırınların çapı yaklaşık 5.2 m, uzunlukları yaklaşık 34.5 m, eğimleri ise 3° dir. İşletme tonajına bağlı olarak 0.5-1.5 devir/dakika hızla dönen fırında yakıt olarak fuel oil kullanılmaktadır.

Ham peletlerin şarj edildiği ilk bölge kurutma bölgesidir. Bu bölge yaklaşık 350°C olup burada peletlerdeki nem ve yapısal su giderilmektedir. Ön ısıtma bölgesinde ise sıcaklık 970 – 1130°C civarındadır. Bu bölümde de yapısal su atılmaktadır. Ayrıca hidratlar, karbonatlar ve sülfatlar parçalanarak ayrılmaktadır. Curuf bağları oluşmaya başlar, cevherdeki manyetit (Fe_3O_4) hematite (Fe_2O_3) dönüşmeye başlar. Aynı zamanda 50-60 kg/pelet mertebesinde mukavamete ulaşırlar. Döner fırındaki sıcaklık ise 1250 – 1320°C aralığında olup bu bölgede curuf bağları ve kristal büyümesi tamamlanır.



Şekil 3.13. Pelet stok sahası

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

<http://www.sinomgroup.com/be22.html>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2007.09.005>
<http://ferrocom.com.tr/tr/ueruenler/item/28-demir-cevheri.html>
<http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/mineraller/index.php?id=pirit>
“Demir çelik üretimi ders notları” U.Şen/Ş.Yılmaz, 2012
http://www.wstyler.ca/pdf/analysis_processing/Pelletizing_Discs.pdf
<http://www.bulk-solids-handling.com/imgserver/bdb/458600/458642/4.jpg>
http://i00.i.aliimg.com/photo/246207081/balling_disc.jpg
[http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/FD649B46389D826E42256B9500317622/\\$File/Great_Kiln.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/FD649B46389D826E42256B9500317622/$File/Great_Kiln.pdf)
<http://www.k-utec.com/Processing-of-Mineral-Raw-Materials.200.0.html>
<http://feeco.com/wp-content/gallery/rotary-drum/rotary-drum-8.jpg>
http://www.alibaba.com/product-free/106610155/IRON_ORE_PELLETS/showimage.html

BÖLÜM 4

YAKITLAR VE METALURJİK KOK

4.1. Giriş

Demir-Çelik endüstrisinde kömürün en çok tüketildiği alan yüksek fırındır. Kok yüksek fırında kullanılan evrensel bir yakıttır. İndirgeyici ve ısı sağlayıcı olarak görev alır. Aynı zamanda üretim maliyeti için önemli bir yer kaplar. Kömür, kok olarak ve enjeksiyon halinde toz kömürün yüksek fırına yakıt olarak yüklenmesi şeklinde tüketilmektedir. Bunun yanında kömürün çok daha az tüketildiği buhar ve elektrik üretimi için de kullanımı

mevcuttur. Yine çelikhanede çelik üretimi sırasında karbon ilavesinde ve demir çelik prosesinde doğrudan ergitme (Kupol Ocağı) işlemlerinde de kullanılmaktadır. Kok üretimi için satın alınan kömürlerden beklenen özellikler, diğer proseslerde beklenen özelliklerden çok farklıdır. Sadece belirli bir sınıf kömür, yüksek fırında pik üretimi için çok spesifik özellikleri sağlayacak şekilde kaliteli kok üretimine imkan sağlar.

Kokun yüksek fırında beş fonksiyonu vardır.

1. Termal ihtiyaçları sağlamak için bir yakıt olarak kullanılır. Reaksiyonu,
$$2C + O_2 \rightarrow 2CO \quad H = - 2300 \text{ k.cal / kg}$$
$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 \quad H = - 8150 \text{ k.cal / kg}$$
2. Demir oksitlerin indirgenmesi için CO sağlar.
3. Metal ve metaloit oksitleri, Mn, Si, P gibi indirger.
4. Demiri karbürize ederek erime noktasını düşürür.
5. Kuru ve ıslak bölgelerde geçirgenliği sağlar ve mekanik destek olur. Kokun geçirgenliği cevher, sinter ve pelete göre % 60-100 oranında daha fazladır. Tüyer seviyesine ininceye kadar erimez ve burada hava tarafından indirgenir.

Demir oksitten ekonomik olarak metalik demir üretmek için en uygun indirgen karbondur. Önceleri bu nedenden dolayı erimeye elverişli karbon içermesi ve uygun özelliklerinden dolayı odunun damıtılmasıyla elde edilen odun kömürü kullanılmıştır. Fakat bugün yüksek fırınlarda demir eldesinde kok kullanılmaktadır. Kok, antrasit ve veya taş kömürün (bitümlü kömür) kuru damıtılmasıyla elde edilir. Kok gözeneklidir. Kokun kimyasal bileşimi gibi fiziksel özellikleri de kullanılan kömüre ve damıtma sıcaklığına bağlıdır. Metalurjik kokun üstün fiziksel özelliklere sahip olması için yüksek sıcaklıklarda (1100-1250 °C) elde edilmesi gerekir.

4.2. Kok ve koklaşmaya uygun kömürler

Bütün *bitümlü* kömürlerin kok imaline uygun olmaması gibi, kok imalatına uygun olan bütün bitümlü kömürler de metalurjik olarak kullanmaya uygun aynı sağlamlıkta gözenekli metalurjik kok vermezler (ör. S, P içeriği yüksek ise). Yani, her kömürden kok olmaz. Her kok olan kömürden de metalurjik kok olmaz. Bazı kömürler diğerleri ile karıştırılmaksızın kendi başlarına oldukça iyi kok imaline uygundur (örneğin Sibiry ve Güney Afrika kömürleri). Bazıları ise yalnızca karıştırılarak kullanılabilir (Örneğin Zonguldak taşkömürleri). Kok üretim tip ve metodu da yüksek fırında kullanılacak kokun kalite ve randımanına fazlasıyla tesir eder.

Kok Cinsleri

Kok kömürleri imal edildikleri metoda göre başlıca üç cinse ayrılır: **Düşük-Orta-Yüksek sıcaklık kokları**. Metalurjik kok üstün fiziksel özelliklere sahip olması için yüksek sıcaklıklarda üretilir. Koklaşmaya uygun üstün vasıflı bir kömür bile düşük sıcaklıklarda (500-900°C) koklaştırılırsa metalurjik maksatlar için uygun değildir. Genel olarak, en iyi yüksek fırın koku pulverize edilmiş ve harman yapılmış, fazla uçucu madde ve az uçucu madde ihtiva eden kömürlerin karışımından yüksek sıcaklıklarda üniform bir ısıtma ile elde edilir. Bugün çok az işletme kok imali için tek bir kömür kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Metalurjik kok

4.3. Metalurjik kokun özellikleri

Metalurjik kokta aranan genel özellikler;

- Yüksek fırınlarda kullanılacak kok sevkiyatta parçalanmayacak ve yüksek fırının ağır şatlarının basıncı altında ezilmeyecek kadar sağlam ve dayanıklı olmalıdır.
- Toz ve ince parçaları ihtiva etmemeli ve istenilen yanma hızı ile yanması için kok parçalara fazla iri olmamalıdır.
- Bu fiziksel özellikler koklaşmaya uygun iyi bir kömürde koklaşma metodu ile kontrol edilir.
- Kömür fırına şarj edilip ısıtıldığında 315-475°C de plastik hale gelir.
- Bitümlü kömür (*taş kömürü*) bu sıcaklık aralığına ısıtıldığında uçucu maddeler önce hızlı olarak sonra 950°C a kadar daha yavaş olarak kömürden çıkarlar.
- Plastik sınırdan sonra yavaş ısıtma kokun sertliğini biraz arttırır.
- Kok parçalarının ebatları büyük ölçüde şarj edilen kömürün ebadına bağlıdır.
- İyi bir metalurjik kokun kimyasal bileşiminde çok az uçucu madde ve % 85-90 karbon bulunur.
- Koktaki uçucu madde miktarı % 2'yi aşmaz.
- Geri kalan kül, kükürt ve fosfordur.
- Yüksek fırında izabe esnasında fosforun hemen hepsi ve kükürdün bir kısmı pik demirine geçer.
- Kül ise cürufa geçer.
- Kokun yüksek fosfor ve kükürt içermesi arzu edilmez.
- Genel olarak koktaki fosfor miktarı yüksek değildir ve hemen daima % 0.05'in altındadır.
- Kükürt ise yüzde 0.6 dan 2 ye kadar olabilir.
- Fakat pik demirine geçmesi bakımından mümkün olduğu kadar düşük olması arzu edilir.

Koktaki kül miktarı çok iyi kalitelere % 6 civarında, düşük kalite koklarda % 14- 16 ve genelde % 8-12 arasındadır. Koktaki kül miktarı kömür koklaşmadan önce yıkamaya tabi tutularak azaltılabilir. Metalurjik fırınların ekonomik olarak işletilmesinde düşük kül miktarının büyük önemi vardır.

Tablo 4.1. Metalurjik kokun özellikleri

Sabit karbon	En az %87
Kül	En çok %11
Kükürt	En çok %1
Uçucu maddeler	En çok %2
Su	En çok %5
Ufalanma ve toz	En çok %6
Özgül ağırlığı	1.5-1.9 kg/dm ³
Basınca dayanım	100 kg/cm ²
Yanma ısısı	7000-8000 kcal/kg
Parça büyüklüğü	40 mm elek üstü

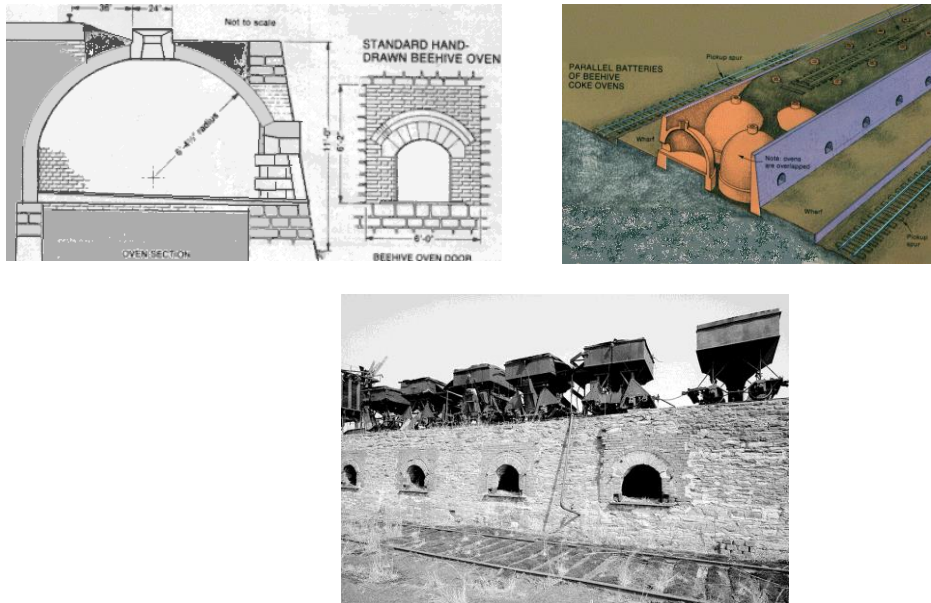
4.4. Metalurjik Kok Üretimi

Metalurjik kok üretiminde kullanılan iki metod bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Kovan Metodu
- 2) Yan Ürün Metodu

4.4.1. Kovan Metodu

Bu yöntem bugün için önemini kaybetmiştir. Kok üretiminde kullanılan en eski yöntemdir. Bu yöntemde kovan şeklinde fırınlar kullanılır. Fırına yukarı kısmından yaklaşık olarak 8 ton kömür yüklenir. Kömür seviyesi düzeltildikten sonra fırın kapağı 3 cm kadar aralık kalacak şekilde kapatılır. Bu aralık koklaşma için yetecek havanın fırına girmesini sağlar. Fırın sıcak olduğu için uçucu maddelerin damıtılması hemen başlar. Kömür kütlesi ısındıkça sıcaklık damıtma gazlarının yanma noktasının üstüne çıkar ve bu gazlar kömür kütlesinin üzerindeki boşlukta yanar. Bu gazların yanması fırının ısısını yükseltir ve koklaşma tamamlanana kadar damıtma üstten alta doğru ilerler. Damıtma süresi (üstte gazın yanması) 3,5 saat kadardır. Kokun fırında kalma süresi 48-72 saat arasında değişmektedir. Zaman uzadıkça daha sert ve daha az uçucu maddeler içeren kok elde edilmektedir. Fırının kapısı üzerinde bırakılan boşluktan giren havanın damıtma gazlarının yanmasına yetecek kadar olması gerekir. Fazla hava kok verimini düşürür. Yanan gazlar fırının üst kısmında bulunan delikten atmosfere bırakılır. Bu yöntemle kok eldesinde verim %60 kadardır ve ortalama olarak fırın başına 5-5,5 ton kok elde edilir. Koklaşma tamamlandıktan sonra kapının tuğlaları sökülür ve kok fırından çekildikten sonra su ile söndürülür. Kullanım için depolanır. Bu yöntem yerini yan ürün metoduna bırakmıştır.



Şekil 4.2. Kovan metoduyla kok üretim fırınları

Bu yöntemin en önemli avantajı, üretilen kokun sertliğinin ve basma mukavemetinin yüksek olmasıdır. Dezavantajları ise aşağıda verilmiştir:

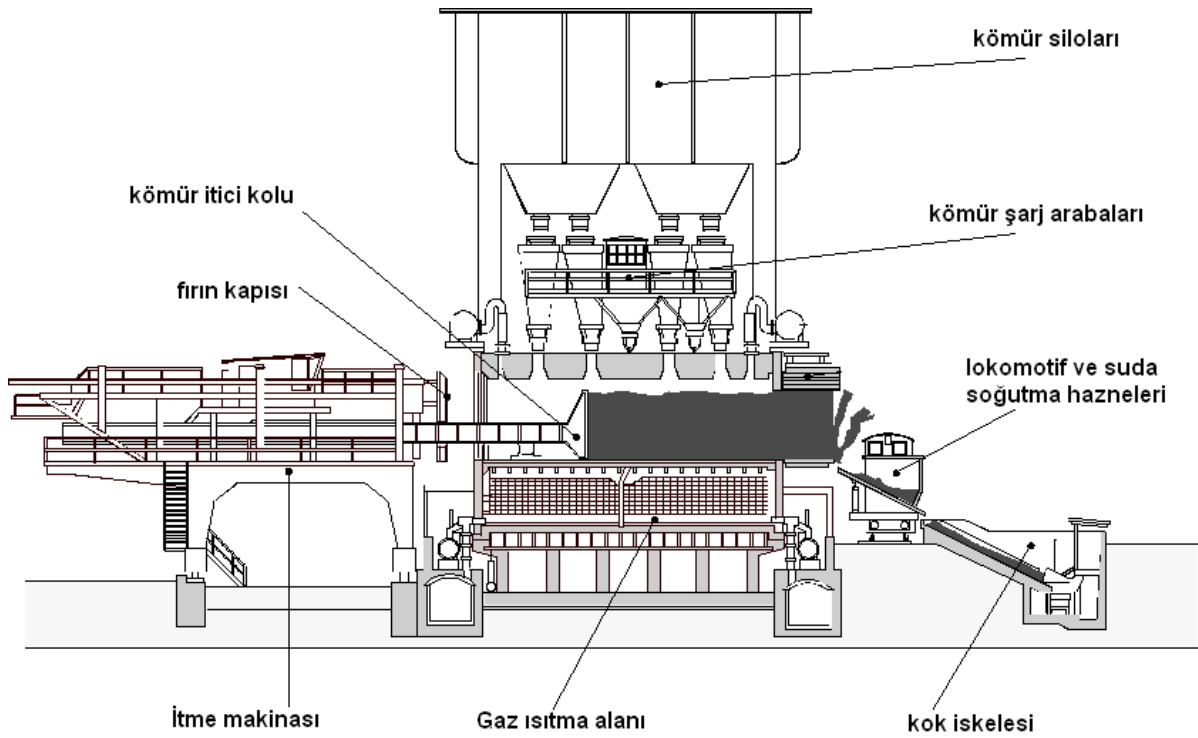
- 1) Bu fırınlar yan yana inşa edilir ve bazen bunların kapladığı sahanın uzunluğu 400 metreyi bulur
- 2) Üretilen koktaki kül miktarı fazladır.
- 3) Verim daha düşüktür.
- 4) Çok uzun sürede kok elde edilir.
- 5) Fazla işçilik ve ustalık gerektirir.
- 6) Fırınlar birbiri ile uyum içerisinde çalışmalıdır. Yüksek fırına yeterince kok sağlamak için bu gereklidir.
- 7) Çıkan gazların tamamı yanar.

4.4.2. Yan Ürün Metodu

Bu yöntemde koklaşmanın gerçekleştiği fırınlarda hava yoktur. Damıtma için gerekli ısı fırının dışarıdan ısıtılmasıyla sağlanır. Koklaşma sonucu elde edilen gazlar fırının bitişiğindeki bölümlerde yanar ve fırını ısıtırlar. Koklaşma sırasında açığa çıkan uçucu maddeler değişik işlemler uygulanarak gaz ve yan ürün olarak elde edilir. Üretilen gazın %40'ı tekrar kok fırınlarını ısıtmada kullanılır.

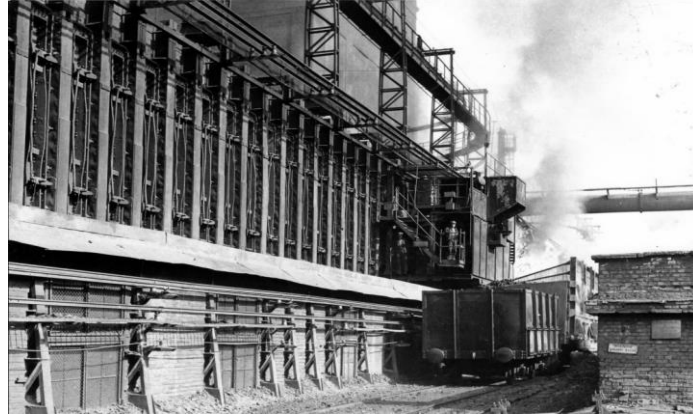
Genel olarak kok fırınlarında üç bölüm bulunmaktadır.

- Koklaşma kamaraları
- Isıtma kamaraları
- Rejeneratif kamaralar



Şekil 4.3. Yan ürün metoduyla kok üretiminde kullanılan kok fırını

Sistem batarya şeklinde dikdörtgen şekilli odacıklardan oluşmuştur. Odacıkların sayısı 100-200 arasında değişmektedir. Bataryalarda sırası ile bir koklaşma odacığı bir ısıtma odacığı bulunmaktadır. Böylece her koklaşma kamarasının iki yanında birer ısıtma kamarası bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Kok bataryaları

Tablo 4.2. Bataryaları oluşturan her bir kok fırınının dizayn ölçüleri

Fırın sayısı	159
Fırın genişliği (itme taraf, PS)	400 mm
Fırın genişliği (kok taraf CS)	476 mm
İçten içe fırın uzunluğu	12,332 mm
Dıştan dışa fırın uzunluğu	13,170 mm
Fırın yüksekliği	4,572 mm
Fırın üstü kalınlığı	1,127 mm
Fırın sıcak hacmi	23.2 m ³
Her bir fırına şarj edilen kömür	18.5 t (yaş)
Koklaşma süresi	17.5 saat
Günlük itilen fırın sayısı	225
Ortalama yanma kamara sıcaklığı	1,350 °C
Bir fırında yanma kamara sayısı	28

Isıtma kamaralarına gaz ile beraber rejeneratif kamaralardan geçerek ısınmış hava verilmektedir. Rejeneratif kamaralar ısıtma ve koklaşma kamaralarının altında olup, ısıtma kamaralarında gazla karışıp yanmayı sağlayan havanın ısıtılması için kullanılırlar. Kömürlerin koklaşabilmesi için gerekli ısı, ısıtma kamaralardan geldiği için koklaşma yan duvarlardan başlar ve kömür yatağının ortasına doğru ilerler. Koklaşma işlemi tamamlandıktan sonra kok itici makine ile itilerek fırının diğer tarafından vagona alınır. Fırının kok tarafı kokun kolayca boşalabilmesi için itici tarafından 5-10 cm. daha geniştir. Vagona alınan sıcak kok üzerine su püskürtülerek söndürülmektedir. Koklaşma süresince fırının her iki ağız refrakter astarlı kapılarla sıkıca kapatılır. Uçucu gazların

çıkması için fırın tavanında bir uçta veya her iki uçta delikler vardır. Bu deliklerden dışarı alınan gazlar bir boru vasıtasıyla bataryanın gaz toplama ana borusuna gider. Bu gazlara daha sonra değişik işlemler uygulanarak değişik yan ürünler elde edilmektedir.

Yanma Kamaralarında Yakıt Gazlarının Yakılması

a) Zengin Gaz ile Isıtma

Yüksek fırınlardan gelen yüksek fırın gazı gazometreye gelir. Gazometreden bataryalara geliş hattında hemen gazometre çıkışında özel bir vana tertibatı ile yüksek fırın gazına kok gazı katılarak zengin gaz karışımı elde edilmiştir. Bu şekilde yüksek fırın gazının kalorisi 870 Kcal/m³ den 1100-1150 Kcal/m³'e yükseltilerek daha iyi bir kalori değeri elde edilir. Zengin gaz rejeneratöre (rejeneratif kamaralar), oradan da yanma kamaralarına (ısıtma kamaraları) iletilmektedir.

Yüksek Fırın gazı (870 kcal/m ³)	%22.6 CO, %20 CO ₂ , %4 H ₂ , %1 CH ₄ , %52.4 N ₂
--	---

Zengin gaz sisteminin devreye girmesi ile bataryalarda eski sisteme nazaran daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiş olup, daha yüksek kapasitede çalışma imkânını vermiştir. Ayrıca baca çekişlerinde de daha iyi netice elde edilmiştir.

b) Kok Gazı ile Isıtma

Batarya altında mevcut kok gazı borusundan çıkan kok gazı bir emniyet vanası ile yanma kamaralarına gaz dağıtan kok gazı dağıtım borusuna gelir. Buradan spiral borular vasıtası ile ayrılan gaz, kok gazı nozulundan geçerek dikey silindirik bir kanaldan yükselir. Nozulun bulunduğu yerde mevcut olan dolaşım kanallarından bir miktar yanmış gaz jet prensibine göre çekilerek kok gazı içine ilave edilir. Bunun sebebi yüksek difüzyon katsayısına sahip olan kok gazının difüzyon katsayısını düşürerek yanma kamaraları içindeki alev boyunu yükseltmektir. Bu şekilde yanma kamarasına gelen kok gazı, yüksek fırın gazında olduğu gibi gelen hava ile yanma kamarası içinde birleşerek yanar. Kok gazı ile ısıtmada ana kok gazı borusuna gelen gaz bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklığı 60° C yükselir. Ayrıca rejeneratörlerde dikey kanal içinde yükselirken yüksek fırın gazında olduğu gibi rejeneratör ısısının da bir miktarını bünyesine alır ve ısınır. Bu ön ısınma sayesinde daha kolay yanması sağlanır. Kok gazında çalışırken yüksek fırın gaz kutularından gaz geçmez, bunlar değişerek hava ve yanmış gaza (bacaya) dönüşür.

Kok gazı (4300 kcal/m ³)	%7.8 CO, %2.6 CO ₂ , %60 H ₂ , %21 CH ₄ , %4.6 N ₂ , %0.2 O ₂ , %1.2 C ₂ H ₆ , %2.6 C _n H _m
---	--

c) Karışık Gaz İle Isıtma

Bu yöntemde karışık gaz, 8 inçlik kok gazı borusundan gelen kok gazı ve 10 inçlik yüksek fırın gazı borusundan gelen yüksek fırın gazının ısıtıcı (eşanjör) girişinde karıştırılması ile oluşmaktadır. Ayrıca yüksek fırın gazı ile ısıtmada anlatılan tüm olaylar yani yüksek fırın gazı haznesinden yüksek fırın gazının kutuları ve rejeneratörler yolu ile yükselmesi, bu tip ısıtmada da aynen geçerlidir. Özetle kok gazı hattından (yüksek fırın gazı + kok gazı) yani karışık gaz, yüksek fırın gazı hattından da yüksek fırın gazı geçirilerek yanma kamarası tabanında hava ile birleştirilir ve yanma sağlanmış olur.

Yanmış Gazların Bataryalardan Uzaklaştırılması

Yakıt gazlarının havanın O₂ ile reaksiyona girmesi ile oluşan yanma olayı sonucunda açığa çıkan yanmış gazlar (CO₂, N₂, H₂O) yanma kamaraları üstündeki bir kanaldan (cross over) geçerek fırın üst tavanından rejeneratörlere gelir. Buradan, önce gaz ve hava kutularına sonra da yanmış gaz kanalı yolu ile bacadan atmosfere atılır. Yüksek fırın gazı ile ısıtmada baca gazındaki O₂ değeri % 1.5-2, kok gazı ile ısıtmada % 4-5, karışık gaz ısıtmada ise % 2-2.5 arasında olmalıdır.

4.5. Koklaştırma İşlemi

Taş kömürünün damıtılarak koklaştırılmasını üç bölümde toplamak mümkündür.

1. Taş kömürünün hazırlanması ve kamaralara doldurulması.

2. Kamarada kömürün koklaşması.

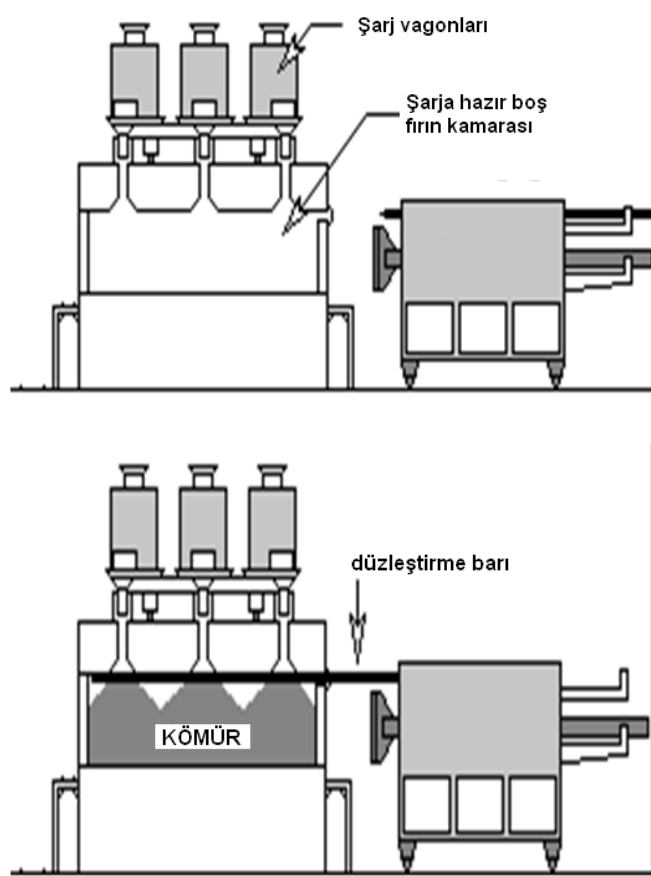
3. Kokların çıkarılması ve söndürülmesi.

Taş Kömürünün Hazırlanması ve Kamaralara Doldurulması

Kömür yatağından çıkarılan taş kömürleri yıkanıp yabancı maddeleri uzaklaştırılır. Hafif nemli olan bu kömürler kurutulur ve sonra parça büyüklükleri 0-10 mm olacak şekilde değirmenlerde öğütülür. Toz kömür yine hafifçe nemlendirilir ve kamaraların üstündeki depolara doldurulur. Isıtma kamaralarında gaz ve hava yakılarak kok kamaralarının sıcaklığı 1200-1300°C'ye çıkarılır. Toz kömür bu kamaralara yüklenir.

Kamaralarda Kömürün Koklaşması

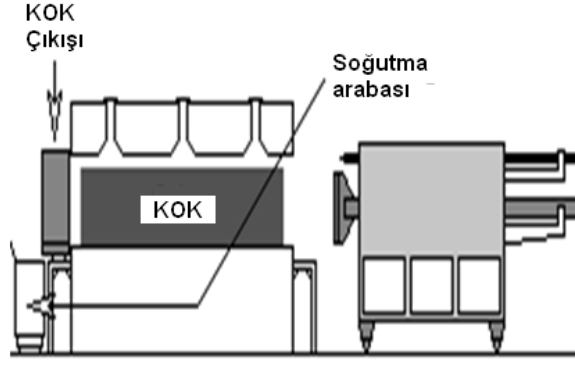
Sıcak kamaraya doldurulan kömür dıştan içe doğru yavaş yavaş ısınır. Koklaşma anında ilk 200°C ile 400°C arasında kömür tanecikleri tarafından absorbe edilmiş su buharı, CO₂ ve CH₄ (metan) gazları açığa çıkar. Koklaşma sıcaklığı arttıkça metan, etan gibi doymuş, etilen gibi doymamış hidrokarbonlar parçalanmaktadır. Buna karşılık H₂ miktarı artmaktadır. Aynı şekilde sıcaklık arttıkça CO₂, CO 'e dönüşmekte ve CO miktarı artmaktadır. Kömürün koklaşması fırının yanma kamaralarının duvarından başlar, kömür yığınının ortasına doğru ilerler. Koklaşabilir kömür havasız ortamda sıcaklığı 400°C civarında yumuşayarak şişer. Sıcaklık arttıkça kömür plastik veya yarı plastik hale gelir. Plastik kitle içindeki gazlar, sıcaklığın tesiri ile genişleyerek kömürü şişirir. Kömürün sıcaklığı 500°C'ye ulaştığında kömür büzülerek katılaşır, gözenekli kok şeklini almaya başlar. 600°C civarında koklaşma başlar. Sıcaklık 1000-1100°C'ye kadar çıkartılır ve bu sıcaklıkta 18-22 saat bekletilen kömür, gaz ve buharlaşan maddelerini vererek akkor halinde bir kütle oluşturur. Koklaşma hızı maksimum kapasitede 1 inç/saat'tir. Koklaşmanın sonunda fırın içindeki kızgın kok kütesinin ortasında yukarıdan aşağıya bir çizgi oluşur, buna **koklaşma çizgisi** denir. Bu çizginin belirginliği ve devamlılığı incelenerek kokun kalitesi hakkında yorum yapılır. İyi bir koklaşmada elde edilen kok kütesinde bu çizginin **belirgin ve devamlı olması** gerekmektedir.



Şekil 4.5. Batarya kesidi ve kömür şarjı

Kokların Çıkarılması ve Söndürülmesi

Koklaşma işlemi bittikten sonra kamaralarının yan kapıları açılır. Özel bir iletme makinesi ile koklar kamaralardan çıkartılır. Çıkarılan kokun sıcaklığı çok yüksek olduğundan havasını oksijeni ile birleşerek yanar. Bunu önlemek için kok üzerine bol miktarda su püskürtülerek söndürülür. İşlem verimi %80'dir.



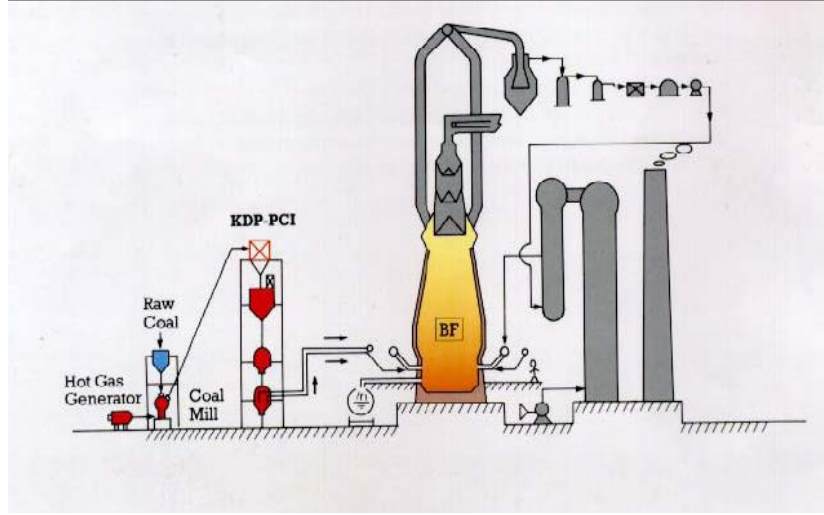
Şekil 4.6. Kokun dışarıya alınması

4.6. Kömür Enjeksiyon Sistemi

Ebadı 200 mesh'in (0,05 mm) altında ve rutubeti % 1'den az kömürlerin yüksek fırınlara enjekte edilmesi işlemine *Pulverize Kömür Enjeksiyonu* (PCI) denir. Sistemde kullanılan ham kömür, kömür stok sahasından PCI tesisi kömür hazırlama bölümüne konveyör vasıtası ile getirilir. Kömür, ham kömür silolarına nakledildikten sonra kömür besleyicisi ile pulverizöre gelir ve burada öğütülür. Daha sonra, yüksek fırın soba bacası atık gazı ve yüksek fırın gazı kullanan sıcak gaz jeneratöründen elde edilen sıcak gaz vasıtası ile kurutulur ve sınıflandırılır. Pulverizörden torba filtrele gelen pulverize kömür (PC), PC silosuna, buradan ara tank ve sonra enjeksiyon tankına gönderilir.

Enjeksiyon tankından çıkan kömür, lanslar vasıtası ile yüksek fırınlara enjekte edilir. Enjeksiyon sırasında enjeksiyon tankındaki PC azaldığı zaman enjeksiyona ara vermeden ara tankdan enjeksiyon tankına PC beslemesi yapılır. Yüksek fırınlarda kömür enjeksiyonuna geçiş sebepleri 1979 yılında yaşanan 2. petrol krizinden bu yana dünya demir çelik endüstrisinde önemli yer tutan ülkelerdeki şirketler yüksek fırınlarda uyguladıkları sıvı yakıt enjeksiyonuna alternatif bir sistem geliştirmek için çaba sarf etmişlerdir. Çünkü sıvı yakıt enjeksiyonu, yüksek maliyeti nedeni ile terk edildikten sonra yüksek fırın prosesinde aşağıdaki olumsuzluklar meydana gelmiştir;

- 1) Alev sıcaklığında artış,
- 2) Kenar bölgelerdeki ısı akışında artış,
- 3) Kok oranında artış,
- 4) Askı ve kayma sayısında artış ve fırın çalışmasını bozulması,
- 5) Gaz geçirgenliğindeki azalmalar sonucu fırın çalışmasının bozulması.



Şekil 4.7. Kömür enjeksiyon sistemi

Fırın çalışmasında meydana gelen bu düzensizlikler bir takım önlemler alınarak düzeltilmeye çalışılmışsa da (örneğin, hava sıcaklığı azaltılıp rutubet miktarı artırılarak alev sıcaklığının kontrolü, cevher/kok oranının azaltılarak gaz geçirgenliğinin artırılması gibi), bu önlemler kok tüketiminin artması, yüksek fırın veriminin düşmesi ile sonuçlanmıştır. Bunun üzerine 1860 yıllarında Avrupa'da uygulanan, fakat bu tarihi takip eden yıllarda petrol fiyatlarındaki düşüş nedeni ile üzerinde fazla araştırma yapılmayan kömür enjeksiyon sistemi yeniden gündeme gelmiştir. Böylece uzun yıllar sonra kısa aralıklarla yaşanan petrol bunalımları sonucu kömür enjeksiyon sistemi üzerinde çalışmalar yoğunlaşarak bu sistemi kullanan fırınların sayısı artmıştır

Niçin kömür enjeksiyonu ?

a) Kömür enjeksiyon sisteminde enjekte edilen kömürün **1 tonunun enjeksiyon maliyeti \$80** civarındayken yeni yapılacak bir kok fabrikasından üretilen kokun **1 tonunun maliyeti \$250 civarındadır** (yatırım maliyetleri dahil). Kömür fiyatlarının ucuz olması nedeni ile sistemin geri ödeme süresi oldukça kısadır (1.5 - 2 yıl gibi).

b) Sıcak hava sobalarındaki yanma havası ve yüksek fırın gazının ön ısıtılması için gerekli olan ısı kazanım sisteminin önemli olduğu 80'li yıllarda hava sıcaklığı 1200 °C'ye kadar yükseltilebiliyordu. Sonuç olarak iyi bir fırın çalışmasını garanti etmek amacı ile alev sıcaklığını kontrol etmenin ekonomik yolları bulunmalıydı. Bu yıllarda kömür/kok/fuel-oil fiyatlarına bakılınca en ekonomisinin kömür olduğu görülmüştür.

c) Kömür enjeksiyon sistemlerinin çoğalmasının ana sebeplerinden biride çevre etkileridir. Kok fabrikalarından çevreye yayılan atıkları kontrol etmek zordur ve yatırım gerektirir. Kömür enjeksiyon sistemlerinde ise çevre kirliliği kok fabrikalarına kıyasla daha azdır.

4.6.1. Kömür Enjeksiyonu – Kok Karşılaştırılması

Tamamen kok ile çalışıldığı durumla kıyaslanınca:

- 1) Kok oranından % 25 tasarruf elde edilir.
- 2) Enerji maliyeti azalır.
- 3) Alev sıcaklığı daha iyi kontrol edilir.
- 4) 210 kg/TSM enjeksiyon yapılabilen bir tesiste hava rutubetinde 16 gr/m³ düşüş, hava sıcaklığında 200 °C artış, oksijen zenginleştirilmesinde % 3 artış elde edilir.
- 5) Aynı yakıt oranında yüksek fırın şarj kapasitesi artırılarak üretim artışı elde edilir.
- 6) Dünyanın bir çok yerinde mevcut olan metalurjik olmayan kömür kullanılabilir.
Antrasit'den linyite kadar, kül miktarı % 3'den % 18'e kadar kömür çeşitleri kullanılabilir. Kullanılan kömürün karbon miktarı yüksekse enjeksiyon oranı da artar.
- 7) Yüksek fırın daha düzenli çalışır (sıcak maden kalitesi artar).

Fuel oil ve doğal gaz enjeksiyonu ile çalışıldığı durumla kıyaslanınca:

- 1) Dünyanın bir çok yerinde mevcut olan metalurjik olmayan kömür kullanılabilir.
- 2) Politik bağımlılığı olmayan bir enerji kaynağıdır.

- 3) Kömürün alev sıcaklığına etkisi fuel-oil ve doğal gazdan daha az olduğu için alev sıcaklığını kontrol açısından yüksek enjeksiyon oranı elde edilebilir.
- 4) Daha az değerli bir enerji kaynağıdır.
- 5) Kömürdeki karbon/hidrojen oranı fuel-oil'inkinden daha büyüktür. Bu nedenle hidrokarbon yakıtlara kıyasla daha fazla kömür yakılabilir.

4.6.2. Sistemde kullanılan kömürler

Tane ebat dağılımı, kül miktarı, uçucu, kükürt ve alkali miktarı, kalorifik değeri, pünamatik taşınma davranışı, gazlaşma ve yanma karakterleri enjekte edilen kömürün göz önünde bulundurulması gereken özellikleridir. Kömürün pünamatik taşınma sırasındaki davranışı önemlidir. Çünkü sadece kesintisiz akış sağlayan kömür tipleri tüyerlerde eşit dağılım sağlarlar. Tüyerler fırın gövdesindeki sıcak hava girişleridir. Sayıları fırın hazne çapına göre değişmektedir. Kömürün karbon, rutubet, uçucu, kül, azot ve oksijen miktarlarının değişmesi kısa süreli ısı dalgalanmalarına sebep olur. Eğer kömür birden fazla kaynaktan elde ediliyorsa bu dalgalanmalar daha da fazlalaşır. Bu nedenle kömür karbonu diğer önemli bir faktördür. Yüksek fırınlar enjekte edilen kömür aşağıdaki özelliklerde olmalıdır.

Uçucu madde	>%20
Kül erime sıcaklığı	>1400°C
Kül miktarı	<%15
Yüzeysel nem	<=%14
Bünyesel nem	<=%1
Kömür ebadı	-50 mm %100, -22 mm %80
Hard Grove Index	45-60
Yoğunluk	0.8 t/m ³

Hardgrove indeks değerleri kömürün öğütülebilirliği ile ters orantılı olarak değişir. Yani, yüksek indeks değerleri kömürün kolay, küçük değerler ise zor öğütülebilir olduğunu göstermektedir.

4.6.3. Kömür enjeksiyonunun fırın çalışmasına etkisi

Kömür enjeksiyonu başlayınca fırın kesiti boyunca etkili gaz dağılımını mümkün olduğu kadar sabit tutmak gerekir. Yüksek uçuculu kömür kullanılarak yüksek enjeksiyon uygulandığında yüksek gaz hızı ve gaz sıcaklığından dolayı raceway derinliği artar (*haznedeki yanma bölgesi derinliği : raceway olarak adlandırılır*).

Tüyerler önünde kömür taneciklerinin koklara çarpması, kok üzerinde termomekanik bir stres oluşturur. Kokun parçalanması sonucu oluşan parçacıklar ve yanmayan kömür taneleri raceway'in arkasında kalın bir birikim meydana getirir. Bu birikim gazı merkezden uzaklaştırır. Böylece gaz duvardan geçmeye başlar ve kenar ısı akımı artar. Aynı zamanda gazın fırın merkezinden geçememesi sonucu fırın ısı seviyesinin düşmesi gibi problemlerle karşılaşılır. Bu tür problemleri çözmek amacı ile mevcut kullanılan tüyer çapları büyütülerek gaz hızı yavaşlatılır.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

Demir-Çelik ders notları, U.Şen/Ş. Yılmaz, 2012.
<http://patheoldminer.rootsweb.ancestry.com/coke2.html>
http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/400-499/433_4.htm

5.1. Yüksek Fırın (Blast Furnace)

Demir içerikli hammaddelerin kok ve kireç taşı ile bir arada ergitilmesinde kullanılan ve kapasitelerine göre yükseklikleri 30-90 m arasında değişen fırınlara **yüksek fırın** denir. Dünya çelik üretimi her yıl 700 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Bu üretimin yaklaşık % 60'ı yüksek fırınlar ve çelikhane vasıtası ile geriye kalan % 40'ı hurdaların eritilmesi ile elde edilmektedir. Hurda kaynağının da yüksek fırın olduğu göz önüne alınırsa çelik üretiminin % 99'u yüksek fırınlardan elde edilmektedir.

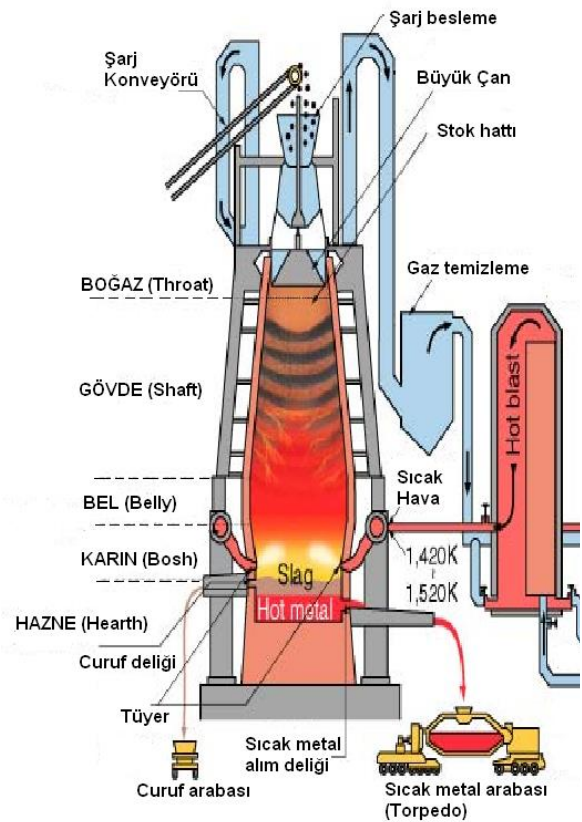
Yüksek fırınlarda sıvı pik elde etmek amacı ile demir içerikli hammaddeler (cevher, pelet, sinter gibi), cüruf elde etmek ve oluşacak cürufun özelliklerini ayarlamak için oksit içerikli hammaddeler (flux malzemeleri; kireç taşı, dolomit gibi), ısı elde etmek amacı ile karbon içerikli hammaddeler (kok, kömür, katran, fuel oil gibi) kullanılmaktadır.

Yüksek fırının iç hacmi 250-850 m³ kadardır. Ortalama 1m³ fırın hacmi için 24 saatte 0,5 ila 1,4 ton arası ham demir elde edilir. 1 ton ham demir elde etmek için kömürün kalitesine cevherin kompozisyonuna bağlı olarak 450-800 kg kok tüketilir. Bir yüksek fırından elde edilen ürün **pik demir** adını alır.

Yüksek fırın doldurulup yakıldıktan 10-15 saat kadar sonra eriyik ham demir alınmaya başlanır. Günde 4-6 kere eriyik alınır. Yüksek fırında kullanılan hammaddeler yaklaşık olarak %55-60 oranında sinter, %30-35 oranında cevher, %10-15 pelettir. Pik demirde %92-93 demir vardır. Geri kalan ise C, Si, Mn, P, S gibi elementlerdir.

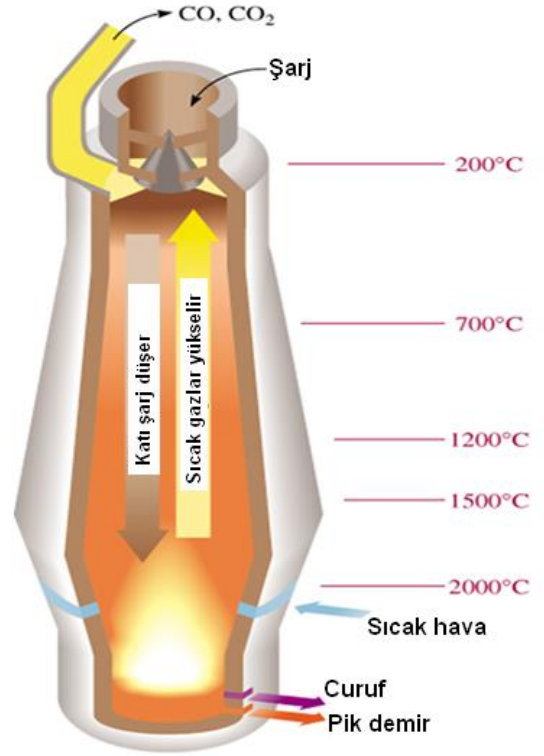
Yüksek fırın dış gövdesi bulunduğu bölgeye göre kalınlıkları değişen (30 – 50 mm) çelik sacdan imal edilmiştir. Fırın içerisindeki reaksiyonlar sonucu oluşan ısıнын gövde sacına zarar vermemesi için gövde sacı, fırın iç kısmından çeşitli kalitelerde refrakter tuğlalar ile korunmaktadır. Yüksek fırın (Şekil 5.1) şu kısımlardan oluşmaktadır;

- 1) Boğaz (Throat)
- 2) Gövde (Shaft)
- 3) Bel (Belly)
- 4) Karın (Bosh)
- 5) Hazne (Hearth)

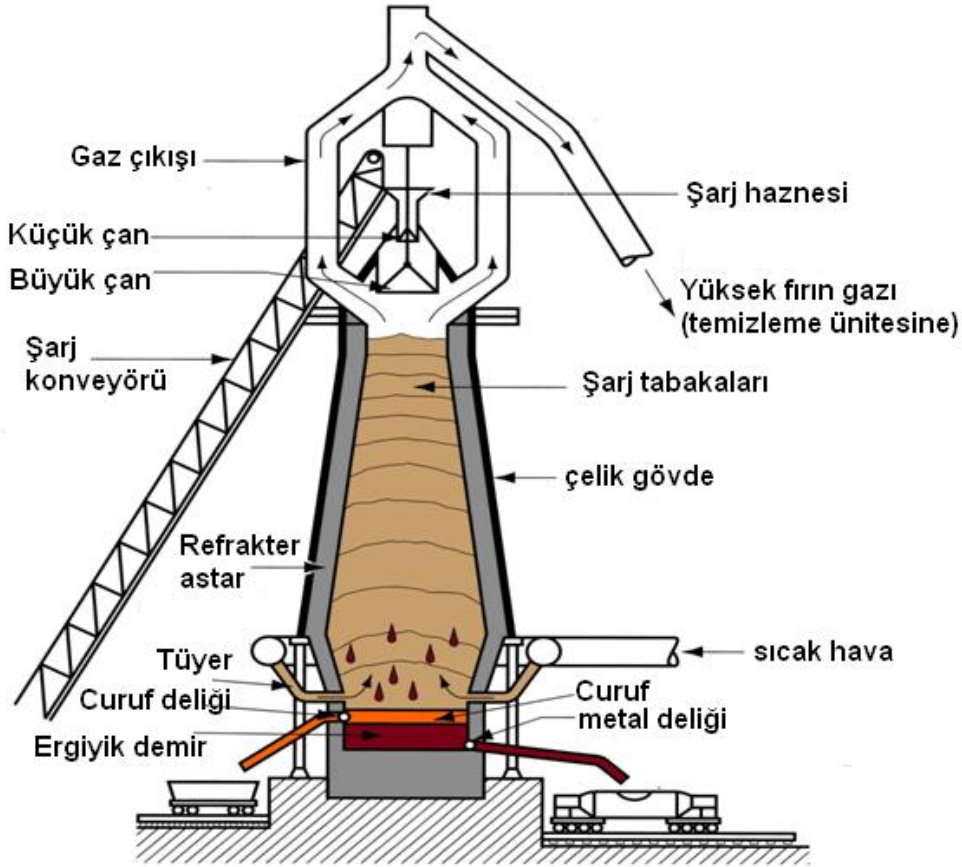


Şekil 5.1. Yüksek fırının şematik gösterimi

Fırın üst bölgesinde çan sistemi veya daha modern bir sistem olan çansız tepe sistemi bulunmaktadır. Hammaddeler fırın üst bölgesinden bu sistemler vasıtası ile içeriye gönderilmektedir. Malzemelerin ve gazın ısınması sonucu hacimlerinin artması nedeni ile rahat bir şekilde hareket edebilmeleri için gövde çapı aşağıya doğru genişlemektedir. Gövdenin bittiği yerde başlayan ve dikey ekseninde çapı sabit olan bel (Belly) bölgesi fırının en geniş bölgesidir. Curufun ve metalin erimesi ve sonuç olarak hacimlerinin azalması bu bölgede başlar. Karın (Bosh) bölgesi ters koni şeklindedir. Üst kısmı bel, alt kısmı hazne ile birleşmektedir. Karın bölgesinde erime işlemi ve son curuf oluşma işlemi tamamlanır. Eriyen metal ve curuf, karın bölgesinin altında bulunan ve dikey ekseninde çapı sabit olan hazne bölgesinde birikir. Fırın şekil ve bölümlerinin ölçüleri; çalışma metodu, hava sıcaklığı ve kullanılacak malzeme cinsine göre değişmektedir. Malzemenin rahat hareketi ve yukarıya çıkan gazın (Şekil 5.2) malzeme ile fırın çapı boyunca temasının çok iyi ve düzenli olabilmesi için bu ölçülerin dikkatli belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 5.2. Yüksek fırında şarj ve sıcak hava hareketi ile sıcaklık bölgeleri

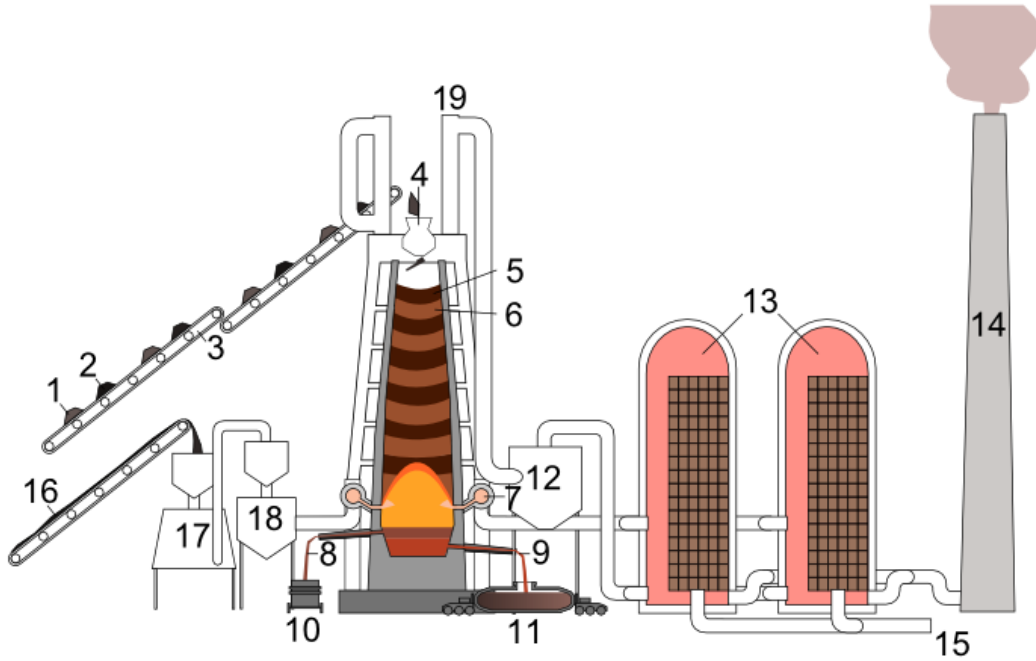


Şekil 5.3. Yüksek fırın kesidi

5.2. Yüksek Fırın Yardımcı Birimleri

Bir yüksek fırında bulunan yardımcı birimler;

- 1- Hammadde besleme sistemi
- 2- Fırın üstü şarj sistemi
- 3- Kömür enjeksiyon sistemi
- 4- Sobalar
- 5- Dökümhane
- 6- Kontrol odası
- 7- Soğutma sistemi ve refrakterler



Şekil 5.4. Yüksek fırın ve yardımcı birimler

(1-sinter, 2-kok, 3-asansör, 4-besleme girişi, 5-kok tabakası, 6-cevher ve flaks sinter/pelet tabakası, 7-sıcak hava ($\approx 1200^{\circ}\text{C}$), 8-curuf alımı, 9-pik demir alımı, 10-curuf arabası, 11-pik demir için torpido arabası, 12-toz tutucu (siklon), 13-sıcak hava fırınları, 14-baca, 15-fırınlara hava besleyici, 16-toz kömür, 17-kok fırını, 18-kok, 19-yüksek fırın baca gazı borusu)

1- Hammadde besleme sistemi

Fırında kullanılacak hammaddelerin stoklandığı, hazırlandığı ve fırına gönderildiği ünitelerdir. Bu ünitelerde;

- a- Hammadde siloları
- b- Besleyiciler
- c- Taşıyıcı bantlar
- d- Tartı hazneleri
- e- Malzeme kovaları bulunmaktadır.

Kullanılan malzemelerin cinsine ve yüksek fırın üretim kapasitesine göre hammadde silolarının adet ve hacimleri değişir. Her cins malzeme için en az 1 adet silo bulunmalıdır.

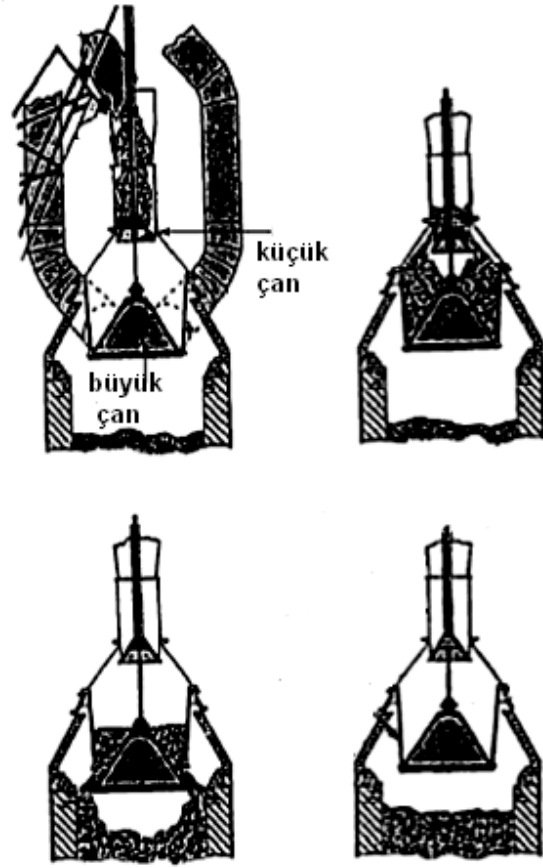
2- Fırın üstü şarj sistemi

Çan Sistemi :

Fırının üst kısmında çift çan tertibatı (büyük çan, küçük çan) vardır (Şekil 5.5). Bu tertibat sayesinde şarj fırın içine verilebilmektedir. Fakat bu arada gazların fırından dışarıya kaçışı önlenmektedir. Sistemin çalışma prensibi basitçe şu şekildedir:

Fırına şarj edilecek malzeme fırın üstüne getirilerek küçük çan üzerine dökülür ve malzeme küçük çan üzerine homojen bir şekilde yayılır. Bu arada öteki (büyük çan) kapalı olur. Küçük çanın açılması ile birlikte malzemeler büyük çanın üzerine dökülür ve küçük çan kapanır. İki çan arasındaki basınç fırın iç basıncına eşitlendikten sonra büyük çan açılır ve malzeme fırın içerisine dökülür. Bu önceden belirlenmiş şarj programına göre olur. Dökme işlemi bittikten sonra büyük çan kapanır. Küçük çanın tekrar açılabilmesi için çanlar arası basıncın tahliye edilmesi gerekmektedir. Şarj edilen malzeme düzgün bir şekilde dağılmalıdır. Bu yükselen gazların düzgün dağılımı için gereklidir.

Dağılım modeli; kullanılan malzemenin büyüklüğüne ve diğer fiziksel özelliklerine, fırının çapına ve açısına ve şarj yüksekliğine bağlıdır.



Şekil 5.5. İkili çan sistemi

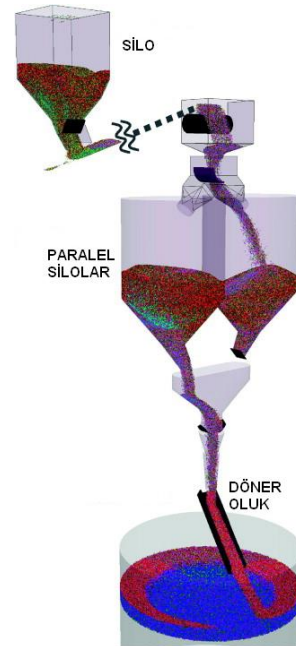
Malzeme fırın içine şarj edildikten sonra yığın oluşturulduğundan malzemenin düzgün şarj edilmesi verimlilik, yakıt tasarrufu ve fırının düzgün çalışması yönünden çok önemlidir.

Çansız tepe (Paul Wurth) sistemi :

Bu sistem dünyada kullanılmakta olan en son şarj sistemidir. Fırın üstü siloları (1-3 adet), sızdırmaz valfleri (alt-üst), eşitleme ve tahliye valfleri, dişli kutusu, malzeme kapısı ve döner oluk bu sistemin önemli bölümlerini oluştururlar. Fırın üzerine taşınan malzemeler uygulanacak şarj programına göre sıra ile silolara boşaltılır. Hazır olan silo içerisindeki malzeme fırın içerisine boşaltılmadan önce üst sızdırmazlık valfi kapanır ve silo iç basıncı fırın iç basıncına eşitlenir. Eşitleme işlemi bittikten sonra alt sızdırmazlık valfi ve malzeme kapısı sıra ile açılırlar. Silo içerisindeki malzeme döner oluk vasıtası ile fırın içerisine dökülür.

Malzemenin silodan dökülüşü esnasında döner oluk kendi ekseninde döndüğü için malzeme fırın içerisine çepeçevre yayılmaktadır. Ayrıca döner oluk dikey ile 13 çeşit açı yapabilmektedir. Böylece malzeme fırın duvarından fırın merkezine doğru istenilen miktarda dağıtılabilmektedir.

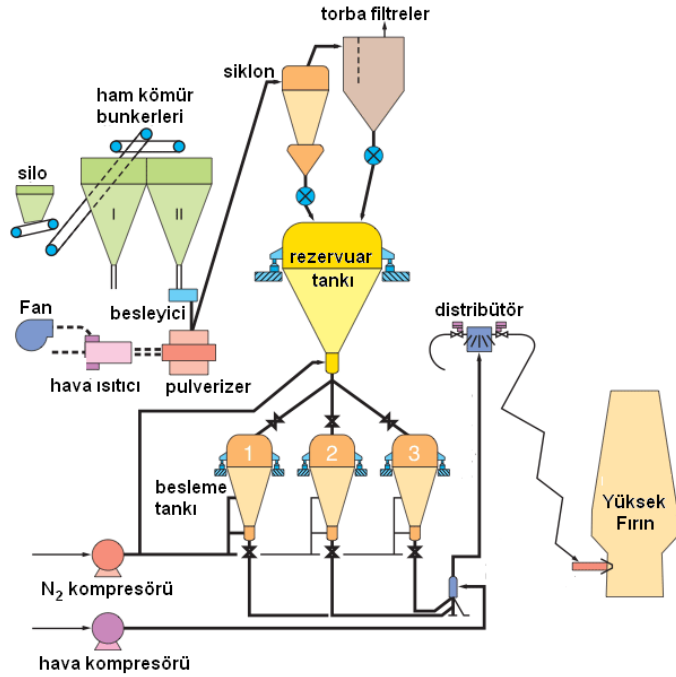
Silo içerisindeki malzeme tamamen boşaldıktan sonra malzeme kapısı ve alt sızdırmazlık valfi sıra ile kapanırlar. Silonun yeniden malzeme alabilmesi için iç basıncın atmosfer basıncına eşit olması gerekir. Bu nedenle şarj işlemi bittikten sonra tahliye valfi açarak silo içerisindeki basınç tahliye edilir.



Şekil 5.6. Çansız şarj sistemi

3- Kömür enjeksiyon sistemi

Pulverize kömür enjeksiyonu (PCI), büyük hacimlerde ve toz halindeki kömürü yüksek fırına üfleme yoluyla besleyen bir prosestir. Bu proses, demir indirgenme ve metalik demir üretimini hızlandırır, ilave olarak fırında kok tüketimini azaltır. Her bir ton kömür enjeksiyonu sayesinde 0.85-0.9 ton metalurjik kok üretiminden tasarruf edilebilmektedir. Böylece ton sıcak metal üretimi başına 16-33\$ maliyetler azalmakta, bu da metal üretim maliyetlerini yaklaşık %4.6 oranında düşürmektedir.



Şekil 5.7. Kömür enjeksiyon sistemi

4- Sobalar

Sobalar, yüksek fırınlarda *kokun yanmasını sağlayan sıcak havanın elde edilmesinde* kullanılır. Kapasitelerine ve imalatçı firmalarına göre tipleri değişik olan sobalar genel olarak iki bölümden oluşurlar:

- Yanma hücresi
- Isınma hücresi

a) Yanma Hücresi

Yanma hücresi; gaz ve hava girişi, seramik burner ve sıcak hava çıkışının bulunduğu boş bir hücreden oluşur. Ayrı kanallardan geçerek gelen gaz ve yakma havası bu bölümde karışır ve yanmaya başlar. Sobalarda, yakıt olarak yüksek fırınların ve kok fabrikalarının yan ürünü olan gazlar kullanılır. Yüksek fırın gazı kalorisinin düşük olması nedeniyle verimli bir yanma elde etmek için istenilen hava sıcaklık değerine bağlı olarak bu gazın içerisine *maksimum % 10 mertebesinde kok gazı* karıştırılır. Elde edilen bu gaz "*karışım gazı*" olarak adlandırılır. Sobalardaki karışım gazını yakmak için kullanılan hava yakma havası fanlarından elde edilir.

b) Isınma Hücresi

Sobanın bu bölümü checker tuğları olarak adlandırılan gözenekli tuğlar, baca çıkışları (2 adet) ve soğuk hava girişinden oluşur.

5- Dökümhane

Dökümhaneler sıvı pik ve cürufun fırından alındığı yerlerdir. Yüksek fırın üretim kapasitesine göre sayıları 1 ila 4 arasında değişir. Dökümhanelerde bulunan ana sistem ve ekipmanlar şunlardır.

- a) Döküm ve cüruf delikleri
- b) Pik ve cüruf kanalları
- c) Dökümhane vinci
- d) Döküm açma matkabı
- e) Döküm kapatma çamur topu

a) Döküm ve cüruf delikleri

Yüksek fırında oluşan ve haznede biriken sıvı pik ve curufun fırından tahliye edildikleri yerlerdir. Curuf yoğunluğunun pik yoğunluğundan düşük olması sonucu haznedeki curufun pikin üzerinde birikmesi nedeni ile curuf delikleri yer olarak pik deliklerinin daha üstünde bir bölgede bulunurlar. Curuf delikleri ihtiyaç duyulduğu zaman açılırken pik delikleri belirli periyotlarda açılarak haznedeki sıvı pik ve curuf birlikte tahliye edilirler. Bu nedenle pik delikleri **Döküm Deliği** olarak adlandırılır. Haznede biriken pik ve curuf tahliye edildikten sonra yeniden birikmesi amacı ile döküm deliği kapatılır. Üretim kapasitesi yüksek olan (günlük 10.000 ton gibi) fırınlarda 4 adet döküm deliği bulunur ve sürekli en az bir döküm deliği açık bulunur.

b) Pik ve Curuf kanalları

Pik Kanalı: Pik fırından tahliye edildikten sonra taşıyıcı araçlar olan pota veya torpido arabalarına belirli bir kanaldan geçerek birikir. Bu kanallar sıcaklık ve aşınmaya dayanıklı refrakter malzemelerden hazırlanmıştır. Döküm deliğinden curuf kanalına kadar olan belirli bir mesafede pik ve curuf birlikte aktığı için pik kanalı **döküm kanalı** olarak adlandırılır.

Curuf Kanalı: Curufun yoğunluğunun pike göre daha düşük olması ve kimyasal yapısı nedeni ile curufun aşındırıcı özelliği pike göre daha azdır. Döküm deliğinden pik ve curuf birlikte tahliye edildiği için belirli bir bölgede bu iki sıvı ayrılmalıdır. Yoğunluk farkı nedeni ile birbirine karışmayan bu iki sıvı **sifon bölgesi** olarak adlandırılan yerde bir birlerinden ayrılırlar. Pik, taşıyıcı araçlara dolarken curuf ise curuf kanalından geçerek curuf sahası olarak adlandırılan bölgede birikir ve burada soğutulur (veya granüle olarak elde edilir). Bazı fırınlarda curuf sahası fırından uzak bir bölgede olduğu için curuf da pik gibi taşıyıcı araçlara (genellikle potalara) doldurularak curuf sahasına götürülür.



Şekil 5.8. Sıcak metal ve curuf alımları

c) Dökümhane vinci

Dökümhanede kullanılan malzemelerin dökümhane içerisinde nakledilmesinde kullanılan önemli bir ekipmandır.

d) Döküm açma matkabı

Haznede biriken pik ve curufun tahliye edilmesinden sonra döküm deliği kapatılarak sıvıların tekrar birikmesi için belirli bir süre beklenir. Bu süre dolduğu zaman döküm deliğinin tekrar açılması gerekir. Bu işlemi döküm açma matkabı yapar.



Şekil 5.9. Döküm açma matkabı

e) Döküm kapatma çamur topu

Haznede biriken pik ve curuf tahliye edildikten sonra fırın iç basıncı etkisi ile döküm deliğinden sıvı pik ve curuf püskürmeye başlar ve bir müddet sonra püskürme şiddetlenir. Bu, haznedeki sıvıların tahliye işleminin bittiğine işaretler ve döküm deliğinin kapatılması gerektiğinin göstergesidir. Döküm deliği, plastik yapıdaki sıcaklıkla sertleşme özelliğine sahip reçine bazlı bir refrakter vasıtası ile kapatılır.

6- Kontrol Odası

Yüksek fırın otomasyon sistemlerinin bulunduğu bölümdür. Burada yüksek fırının belirli bölümlerine kumanda eden PLC – DCS gibi bilgisayar sistemleri mevcuttur. Sobalar, hammadde sistemi, şarj sistemi gibi yüksek fırının önemli bölümleri bilgisayarlar ile kontrol edilir ve çalıştırılır. Ayrıca, bilgisayarla kontrol edilen tüm sistemlerin arıza veya bakım gibi otomatik çalıştırma yapılamayan durumlarında müdahale edilebilmek için operatör tarafından el ile kumanda edilmesine imkan veren operatör masaları mevcuttur.



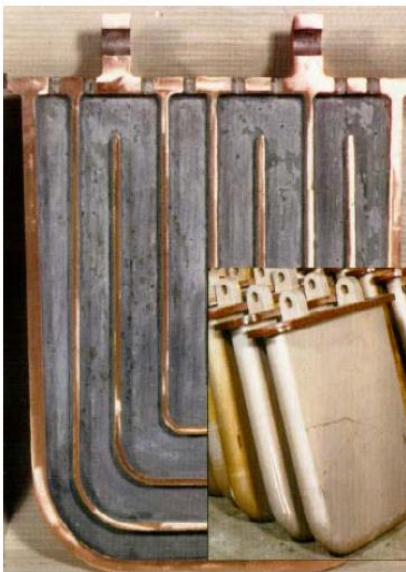
Şekil 5.10. Kontrol odası

7- Soğutma sistemi ve refrakterler

Yüksek fırındaki reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısı tüyer önünde (yanma bölgesinde) yaklaşık 2200°C fırın üstünde (hammaddenin fırına ilk girdiği yerde) yaklaşık 150°C civarındadır. Sıcak hava sobalarında sıcaklık ise 1250 °C civarındadır. Bu nedenle fırında ve sobalarda sıcaklığa maruz kalan kritik bölgeler soğutulmalıdır.

a) Fırın gövde soğutması

Yüksek fırının gövdesi kalın çelik saçtan yapılmaktadır. İç kısımlarına ise fırın içerisinde oluşan sıcaklığın gövde sacına zarar vermemesi için çeşitli kalitelere kalınlığı 1,5 metreyi bulan refrakter tuğlalarla örülmektedir. Bu tuğlaların ömrünü artırmak ve soğutmak, plaka soğutucular ve/veya panel soğutucular ile gerçekleştirilir. Bu soğutuculardan plaka soğutucular bakırdan imal edilirken panel soğutucular genellikle pikden imal edilirler. Plaka soğutucular refrakter içerisine yatay olarak monte edilirken panel soğutucular gövde sacı ile refrakter arasına dikey olarak monte edilirler. Soğutucularda soğutma amacı ile su kullanılmaktadır. Soğutma suyu soğutucunun bir bölgesinden girer, soğutucu içerisindeki kanallardan dolaşır ve soğutucuyu terk eder. Böylece soğutucu belirli bir bölgeyi soğutmuş olur. Yüksek fırının dizaynına göre soğutucu tipi ve adedi değişmektedir.



Şekil 5.11. Plaka tipi soğutucu



Şekil 5.12. Panel tipi soğutucu

b) Tüyerler ve curuf deliği

Tüyerler fırın gövdesindeki sıcak hava girişleridir. Sayıları fırın hazne çapına göre değişmektedir. Tüyerlerden fırına giren sıcak havanın karbon ile reaksiyonu sonucu açığa çıkan ısı oldukça yüksektir. Bu nedenle tüyerler ısıdan etkilenmemesi için iletkenliği yüksek bir malzeme olan bakırdan imal edilirler ve su ile soğuturlar. Tüyerler plaka veya panel soğutucular gibi herhangi bir refrakter içerisinde olmadıkları ve yüksek fırının en sıcak bölgesinde ısıya direk maruz kaldıkları için kalitelerinin çok yüksek olması gerekir.



Şekil 5.12. Tüyer

c) Soba valfları

Sobanın sıcak bölgelerinde bulunan sıcak hava valfları ve bazı sobalardaki baca valfları soba içerisindeki ısıdan etkilenmemeleri için su ile soğutulurlar. Özellikle sıcak hava valfinin soğutulması çok önemlidir. Çünkü bu valf 1250°C civarındaki bir sıcaklığa maruz kalmaktadır.

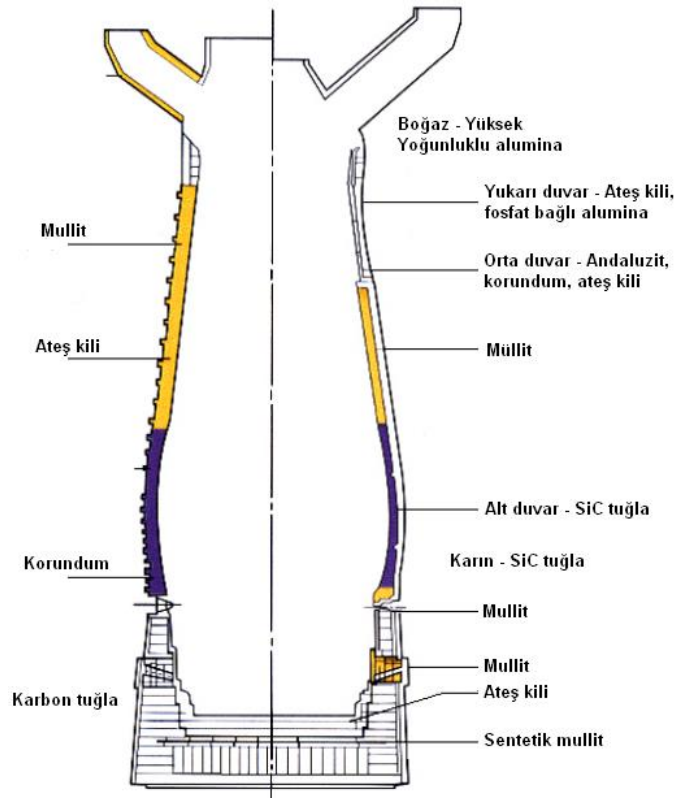
d) Gaz soğutma sistemi

Yüksek fırın içerisindeki reaksiyonlar sonucu oluşan gaz yüksek fırını terk ederken sıcaklığı yaklaşık 150°C civarındadır. Kalorisi 750 – 850 kcal/m³ olan bu gaz fabrikanın çeşitli yerlerinde yakıt olarak kullanılır. Yüksek fırını terk eden gaz beraberinde fırına şarj edilen hammadde içerisindeki ince yapılı malzemeleri de taşır. Fabrikanın çeşitli yerlerinde kullanılacak olan bu gaz kullanımdan önce temizlenmeli ve soğutulmalıdır. Bu işlemler gazın fırını terk etmesinden sonra gerçekleşir. Gaz beraberinde taşıdığı tozların iri tanelilerini toz tutucu silosunda bıraktıktan sonra gaz yıkama ve soğutma sistemine girer. Burada su ile soğutulan ve yıkanan gaz çeşitli ünitelerde kullanılmak amacı ile servise verilir.

e) Refrakterler

Refrakterler yüksek fırınların en önemli malzemelerinden biridir. Fırın gövde sacını içerideki ısıdan korumak refrakterlerin görevidir. Refrakterler yüksek fırınlarda 10 - 20 senede bir yapılan genel bakımlar sırasında yenilenir. Fırın içerisindeki aşınma mekanizmalarına göre çeşitli kalitelere refrakterler kullanılır. Kullanılan bu refrakterler belirli bölgelere tek başına bulunduğu gibi bir kaç çeşit refrakterin birleşiminden (sandviç tipi) meydana gelebilirler. Yüksek fırınlarda çoğunlukla kullanılan refrakterler şunlardır;

- a) Karbon refrakterler
- b) SiC (silisyum karbür) refrakterler
- c) Grafit refrakterler
- d) Alumina refrakterler



Şekil 5.13. Yüksek fırın izolasyonunda kullanılan refrakterler

Fırın hazne bölgesinde sıcak metal ve cüruf bulunduğu için bu bölgedeki refrakterlerin ısıya dayanıklılığı ve ısı iletkenliği çok önemlidir. Bu nedenle hazne bölgesinde genellikle *karbon*, *grafit* gibi refrakterler kullanılır. Bu refrakterlerin ısı iletkenlikleri yüksek olduğu için iyi bir soğutma sistemi ile bulundukları bölgeyi çok uzun süre (20 yıl gibi) koruyabilirler.

Karın bölgesi erime işlemi başlangıç ve bitiş bölgesi olduğu için bu bölgede de sığa ve aşınmaya dayanıklı, ısı iletkenliği yüksek *silisyum karbür*, *karbon* veya *grafit* türü refrakterler kullanılır.

Gövde bölgesinde daha çok mekanik aşınmaya dayanıklı *alümina refrakterler* kullanılır. Kullanılan refrakter içerisindeki alümina miktarı gövde bölgesindeki aşınma derecesine göre değişir. Mesela üst gövde bölgesinde çok fazla mekanik aşınma varken (bu nedenle düşük alüminalı refrakter kullanılır) alt gövde bölgesinde mekanik aşınma az, ısı şok daha fazla olduğu için yüksek alüminalı refrakter kullanılır.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

Demir-Çelik ders notları, U.Şen/Ş. Yılmaz, 2012.

http://www.sciencequiz.net/lcchemistry/2B_Electrochemistry/mcq/images/blast_furnace.jpg

<http://dc307.4shared.com/doc/T6SKKD2r/preview005.png>

<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0892687512000039-gr13.jpg>

<http://atomicoasters.com/2011/10/bcms-7-blowing-engines/>

<http://ietd.iipnetwork.org/content/pulverized-coal-injection>

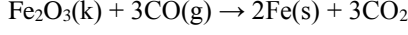
<http://www.mckeowninternational.com/New/images/TypicalBlastFurnaceDrawing.pdf>

BÖLÜM 6

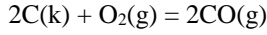
DEMİR CEVHERİNİN REDÜKSİYONU

6.1. Yüksek Fırın Reaksiyonları

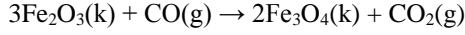
Yüksek fırındaki operasyon, karbon monoksidin (CO) demir cevherindeki oksijene olan afinitesinin (ilgisinin) demirden daha fazla olmasına ve demiri elementel hale indirgerme prensibine dayanmaktadır. Karbon monoksit ayrıca pik demirden giderilmesi gereken silikayı da (SiO₂) redükler. Silika kalsiyum oksitle (CaO) reaksiyona girer ve sıvı pik demirin yüzeyi üzerinde yüzen curufu oluşturur. Sıvı pik demir oluşumdaki temel kimyasal reaksiyon,



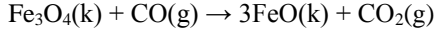
olmasına karşın bu indirgenme reaksiyonu birkaç kademede gerçekleşmektedir. Her şeyden önce fırına üflenen sıcak hava kok ile reaksiyona girer, bunun sonucunda hem ısı hem de CO üretilir.



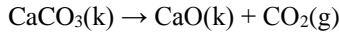
Bu üretilen sıcak karbon monoksit, demir cevheri için redükleyici bir maddedir ve demir oksidi elementel demir haline getirirken karbon dioksit (CO₂) oluşumu da gerçekleşir. Fırının farklı bölgelerindeki sıcaklığa bağlı olarak demirin kademeli redüksiyonu gerçekleşir. Fırının üst kısımlarında sıcaklık genelde 200 – 700°C aralığındadır ve bu bölgede Fe₂O₃ kısmen Fe₃O₄ e redüklenir.



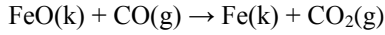
850°C civarında fırının daha aşağı kısımlarında manyetit (Fe₃O₄) wüstite (FeO) redüklenir.



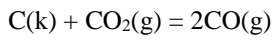
Yüksek fırında şarj malzemeleri aşağıya doğru inerken ters-akım şeklinde yukarıya doğru çıkan gazlar şarj malzemesini ön ısıtır ve şarjda bulunan kireçtaşını (CaCO₃) parçalar.



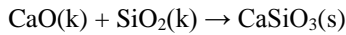
1200°C ye varan sıcaklıkların olduğu fırının alt kısımlarında wüstit (FeO) metalik demire redüklenir.



Bu proste oluşan karbon dioksit (CO₂), kokla reaksiyona girerek tekrar karbon monoksit oluşturur. Yüksek fırında sıcaklığa bağımlı olarak gerçekleşen bu reaksiyona **Boudouard Reaksiyonu** adı verilmektedir.



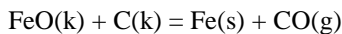
Kireçtaşının parçalanmasıyla oluşan CaO ise cevherdeki başta silika olmak üzere asidik empüritelerle reaksiyona girerek curufu oluşturur.

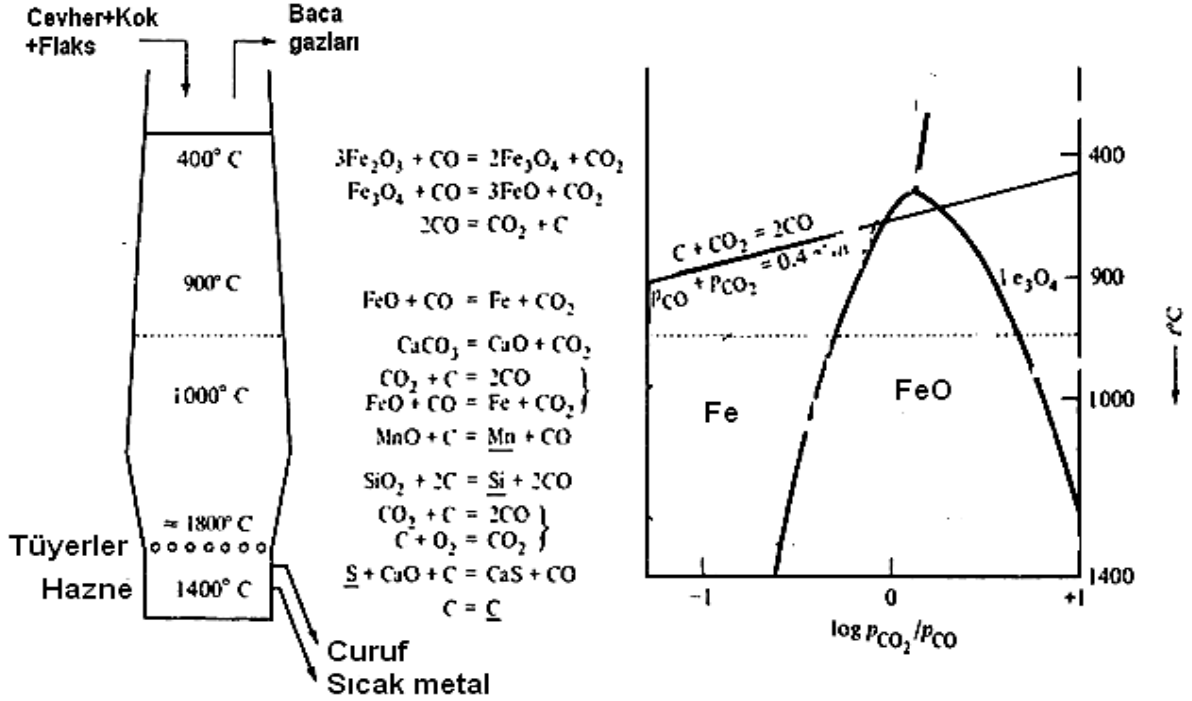


Üretilen pik demir yaklaşık % 4-5 C içermektedir ve oldukça gevrektiler.

MnO ve SiO₂ gibi cevherden gelen bileşenler, katı karbonla reaksiyona girerek redüklenir ve sıvı demir içinde çözünme eğilimi gösterirler. Şekil 6.1 de bazı maddelerin altı çizili olması, sıvı demir içinde çözülmüş olduklarını göstermektedir.

Redükleyici olarak gazla (burada CO) gerçekleşen redüksiyonlar **İndirekt Redüksiyon** olarak tanımlanmaktadır. Buna karşılık katı karbonla aşağıdaki gibi gerçekleşen redüksiyonlar **Direkt Redüksiyon** olarak sınıflandırılmaktadır.

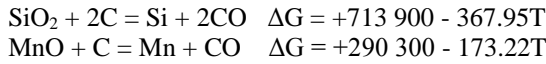




Şekil 6.1. Yüksek fırında gerçekleşen temel reaksiyonlar

Karbon redüksiyonu kuvvetli endotermik olup (çok ısı gereken) yüksek fırında demir üretimine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu konu ileriki bölümlerde (Direkt Redüksiyonla Demir Üretimi – Sünger Demir Üretimi) detaylı şekilde anlatılacaktır.

Karın (Bosh) ve hazne (Hearth) bölgesindeki reaksiyonlar demir oksitleri pek kapsamaz. Örneğin şarj malzemesinde bulunan bütün fosfor oksit (P_2O_5) fosfora redüklenir ve sıvı metal içinde çözünür. Bu durumda daha gerçekleştirilen çelik üretim kademesinde giderilmelidir. Bu nedenle demir cevheri içindeki fosfor içeriği kritik öneme sahiptir. Ticari açıdan içinde fosfor bulunan pik demirin rafinasyonu uzun zaman alır. Bazik oksijen fırını (BOF) için demirdeki normal fosfor içeriği yaklaşık % 0.1-0.2 dir. Silika (SiO_2) ve mangan oksit (MnO) gibi oksitler ise, curufyla sıvı metal arasındaki etkileşimler sonucu kısmen redüklenirler ve bu durum curufun sıcaklığı ve kompozisyonu gibi birçok faktöre bağlıdır.



Artan sıcaklığa bağlı olarak yukarıdaki reaksiyonlarda denge sağa kayar ve hem silis hem de mangan metal içinde çözünmeye başlar. Sıvı metal içerisine giren diğer elementler kükürt ve karbondur. Karbon demir içerisinde kolaylıkla çözülür. Buna karşılık kükürt kontrolü yüksek fırında oldukça önemlidir.

6.2. Yüksek Fırın Curufu ve Baca Gazı

Ticari cevherlerde genel olarak bulunan iki mineral silika (SiO_2) ve aluminadır (Al_2O_3). Bu durumda curuf oluşumu için CaO ve MgO gibi maddeler kullanılır. Oluşan curufun genel bileşim aralığı 38-44% CaO, 8-10% MgO, 34-38% SiO_2 , 10-12% Al_2O_3 , 0.5-1.0% MnO, 1-2% S, 0.1-0.6% K_2O and <0.2% FeO şeklindedir. Genelde curufun kimyasal karakteri kompozisyonuna ve içerdiği bileşenlerin miktarına bağlıdır. Curufta bulunan bileşenlerin karakteristikleri aşağıdadır:

Asidik oksitler: SiO_2 , P_2O_5 , B_2O_3

Bazik oksitler: CaO, MgO, MnO, FeO, Na_2O , K_2O

Amfoter (ara) oksitler: Al_2O_3 , Fe_2O_3

CaO içeriği yüksek olan curuflar bazik, SiO₂ içeriği yüksek olanlar asidik curuf olarak tanımlanır. Curufun asitlik (veya baziklik) derecesi, curuftaki bazik karakterli bileşenlerin toplamının asidik karakterli bileşenlerin toplamına oranı şeklinde belirlenir, ancak farklı hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Tipik olanları aşağıda verilmiştir.

$$\text{CaO/ SiO}_2 ; \quad (\text{CaO} + \text{MgO})/ \text{SiO}_2 ; \quad (\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \approx 0.9-1.2$$

Curufun fırından rahatça tahliye edilebilmesi için için gerekli olan en düşük hazne sıcaklığı **Kritik hazne sıcaklığı** olarak adlandırılır ve 1500–1550°C arasındadır. Yüksek fırın curufları çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Curufların büyük kısmı kırılıp istenen ölçülere getirildikten sonra, demir yolu traverslerinin altına ve yol yapımında kullanılmasıdır. Minimum % 12 alümina içeren, ani soğumadan sonra cımsı yapıyı koruyan yüksek fırın curufları çimento yapımına uygundur. Çimento yapımında kullanılan curufların granüle hale getirilmesi gerekir. Curufu granüle hale getirmek için değişik yöntemler vardır. Sıvı curuf kısmen su ile doldurulmuş bir çukura dökülerek veya curuf akımına su püskürtülerek granüle edilebilir. Ayrıca cüruf katılaşırken üzerine hava veya buhar üflenerek hafif, yanmaz ve ısıya yalıtkan bir malzeme curuf yünü elde edilir.

Baca gazı, Ergitme bölgesinde meydana gelen gazlar esas itibarıyla N₂ ve CO den ibaret olup, havadaki su buharının parçalanması sonucu az miktarda da hidrojen ihtiva etmektedir. Bu gazlar şarj kitlesi arasından geçerken CO gazının oksitleri indirgemesi sonucu CO gazlarının bir kısmı CO₂'e dönüşür. Ayrıca karbonatların parçalanması sonucu ortaya çıkan CO₂ gazı da bu gazlara karışmış olacaktır. Yüksek fırını bacadan terk eden gazların yaklaşık olarak kompozisyonu aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.1. YF Baca gazının kompozisyonu

Bileşen	%
CO ₂	14 – 16
CO	23 – 25
H ₂	3 – 5
N ₂	56 – 57

Yüksek fırını terk eden gazlar bir boru vasıtasıyla üst kısımdan toz toplayıcıya verilir. Buradan gazın hızı ve dolayısıyla toz taşıma özelliği azalır ve gaz içindeki tozun büyük bir kısmın bırakır. Yüksek fırın gazındaki toz parçacıklarının büyükleri 2 mm'den birkaç mikrona kadar değişir. 20 mesh ten küçük olanlar toz toplayıcıda çökmeyip gaz ile beraber sürüklenir. Toz toplayıcıdan çıkan gaz yıkayıcıya gelir. Burada gaz akımına su püskürtülerek içindeki parçacıklar ıslatılır. Islanan parçacıklar ağırlaşır ve su ile sürüklenir. Yıkayıcıda gazın içindeki tozun %90 – 95'i giderilir. Gaz burada soğuma kulesine geçer ve üzerine sıvı püskürtülerek sıcaklığı azaltılır. Soğuyan gazın sonra nemi alınır. Temizlenen gaz yüksek fırına üflenene havayı ısıtan sobaları ısıtmada, kok fırınlarında kullanılır. Elde edilen toz sinterlenerek yine yüksek fırında kullanılır.

6.3. Modern Yüksek Fırınlar

Yüksek fırın prosesi, redüksiyon prensip kriterlerinin kullanılmasıyla çeşitli oksit cevherlerinden metalik demirin kazanılması için geliştirilmiştir. Bu prosesin esasları çok basit iken, modern yüksek fırın operasyonu mümkün olan en yüksek verimin alınabileceği optimizasyon çalışmalarının en üst seviyelerine çıkmak için yapılmaktadır.

Demirin cevherden kazanılması işleminde çok büyük kütlelerin çok yüksek sıcaklıklara çıkarılmasına ihtiyaç duyulması sebebiyle, en yüksek gider ısıtma için gerekli olan enerjidir, yani ısıtma amacıyla kullanılan yakıttır. Buna ilave olarak, redüksiyon reaksiyonları önemli ölçüde redükleyici gaz atmosferine ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Bu da diğer bir önemli gider kaynağıdır.

Yüksek fırın prosesinde bu giderlere rağmen başarılı olmada anahtar rol oynayan faktör, karbon kaynağı olarak kok'un kullanılması olayıdır ve bu sayede hem enerji hem de redükleyici ortamın oluşturulması sağlanmaktadır. Dışarıdan ısıtılan cevher yüküne redükleyici gaz enjeksiyonundan başka, cevher kokla fiziksel olarak karışmıştır ve sıcak hava üflenmektedir. Kok kolayca aşağıdaki eşitlik gereğince oksitlenmektedir.

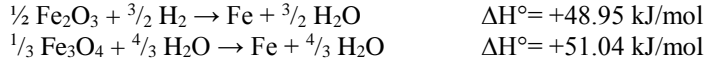


Bu yüksek fırında birincil yanma reaksiyonudur ve burada hem ısı (110.5 kJ/mol) hem de redükleyici gaz (CO) üretilmektedir. Böylece reaktörün içerisinde yakıtın yanmasıyla çok etkili ısıtma başarılmakta ve gerekli reaktan gaz üretilmektedir ve cevherle karışmaktadır. Yakıt olarak kullanılan kokun diğer ilave etkisi ise, içeri giren sıcak

hava ile reaksiyona girmesi sonucunda H₂ gazı üretilmesidir. Burada bir şekilde havada bulunan nem ile karbon reaksiyona girmektedir.

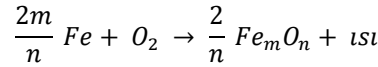


Bu reaksiyon ΔH° 'ın pozitif değeri ile gösterildiği gibi ısı absorbe eder. Ancak, bu reaksiyon sürecinde karbonun oksidasyonu her bir mol karbon için iki mol redükleyici gaz üretir. H₂ gazı CO e benzer şekilde demirin redüklenmesi için etki eder.



6.4. Yüksek Fırında Redüksiyon Reaksiyonlarının Termodinamiği

Genel olarak metalik malzemelerin, atmosferik sıcaklıklarda ve basınçta havada, oksit halinde bulunması en muhtemel durumdur. Demir için, bu durum ekzotermik bir reaksiyonla ele alınabilir;



Çeşitli demir oksitler için üretilen ısı miktarı Tablo 6.2'de verilmektedir.

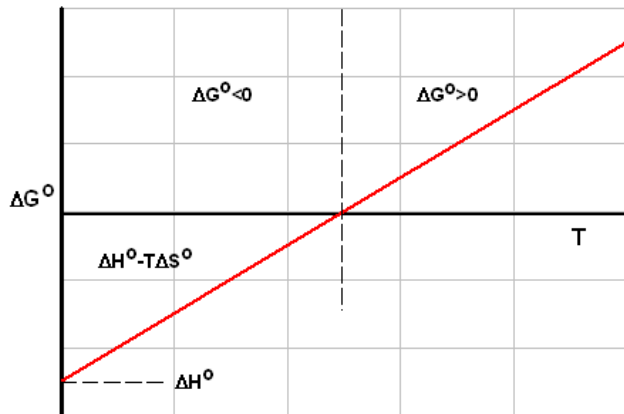
Tablo 6.2. Demir oksitlerin oluşum entalpisi ve entropisi

Reaksiyon	m	n	ΔH° (J/mol)	ΔS° (J/mol.K)
$Fe + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow FeO$	1	1	-264429	-64,7
$2Fe + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow Fe_2O_3$	2	3	-806665	-243,9
$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$	3	4	-1092861	-298,6

Reaksiyon ısısı, ΔH relatif olarak sıcaklıktan bağımsızdır. Tabi ki, entalpi yalnız başına relatif dengenin oluşması için yeterli değildir. Sabit sıcaklık ve basınç şartları altında, **Gibbs serbest enerjisi**ni uygulayabiliriz. Reaksiyonlar için Gibbs serbest enerji değişimi aşağıdaki gibi verilebilir;

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$$

Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak serbest enerji değişimi şematik olarak Şekil 6.2'de görülmektedir. Burada not edilmesi gereken husus **Y ekseninin** kesişim noktası ($T=0K$) ΔH° değerini, eğrinin eğimi ise $-\Delta S^\circ$ değerini vermektedir. Bu diyagramlar *Ellingham diyagramları* olarak bilinmektedir. İlave olarak, **X ekseninin** kesim noktası $\Delta G^\circ=0$ olduğu şartı gösterir ve bu sıcaklık denge sıcaklığıdır.

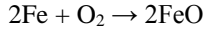


Şekil 6.2. Oksidasyon reaksiyonu için sıcaklığa göre serbest enerji değişimi

Bir reaksiyon denge durumundaki serbest enerjisi,

$$\Delta G = -RT \ln K$$

Görülmektedir ki, x-ekseninin kesim noktası ile gösterilen denge sıcaklığı $K=1$ şartı içindir. Şimdi bir an için $m=n=1$ olarak düşünelim ki bu durum Tablo 6.2 deki ilk reaksiyonu anlatmaktadır. Oksidasyon reaksiyonu her bir mol O₂ için aşağıdaki gibi yazılabilir;



reaksiyonu için denge sabiti $K = \frac{1}{P_{\text{O}_2}}$ şeklindedir.

Burada, P_{O_2} oksijenin kısmi denge basıncıdır. Denge durumunda, atmosfer ve sıcaklığın etkisini belirlemek için serbest enerji değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. $T=0$ K deki kesişim, reaksiyonun standart entalpi değişimini ve eğimin negatifliği standart entropi değişimini verir.

Eğrinin kesiştiği $\Delta G^\circ = 0$, X ekseninde $K=1$ i ifade eden denge sıcaklığını verir ki bu, bu aşamada oksijen kısmi denge basıncını (1 atm) göstermektedir. Buradan hareketle denge sıcaklığı hesaplanabilir.

$$T_{\text{Denge}} = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = \frac{(264429)}{(64,7)} = 4087 \text{ K}$$

Şekil 6.2 deki grafik, ΔG° nin negatif olması sebebiyle, metalik demirin 1 atm basınç altında, 4087 K den düşük sıcaklıklarda kendiliğinden oksitleneceğini göstermektedir.

Eğer demir oksidin redüklenmesini istiyorsak işlemlerin oksijen zengin, bu atmosfer şartlarında yapılamayacağı aşikârdır. Ancak kapalı ortamlarda oksijen zayıf bölgelerde bu mümkün olabilir. P_{O_2} nin etkisini 1 atm den farklı bir basınç değerine değişimi dikkate alarak, ΔG deki değişimin hesaplanmasıyla gösterilebilir.

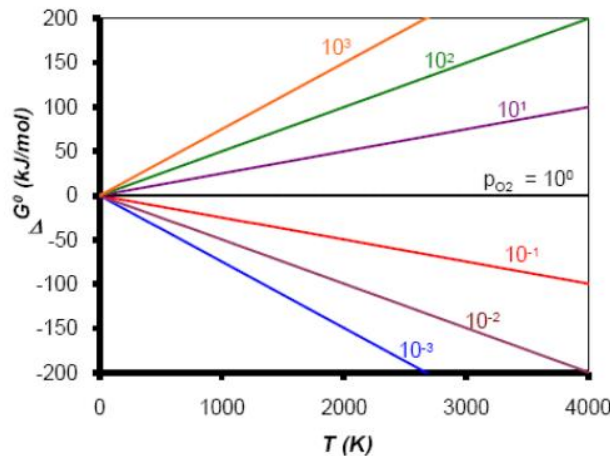
$$\Delta G^\circ(T, P_{\text{O}_2}) = \Delta G^\circ(T, P_{\text{O}_2} = 1) + [\Delta G(P_{\text{O}_2} = P_{\text{O}_2}) - \Delta G(P_{\text{O}_2} = 1)]$$

$$\Delta G(T, P_{\text{O}_2}) = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ - RT \left[\ln \left(\frac{1}{P_{\text{O}_2}} \right) - \ln \left(\frac{1}{1} \right) \right]$$

$$\Delta G(T, P_{\text{O}_2}) = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ + RT \ln P_{\text{O}_2}$$

Çoğu oksidasyon reaksiyonlarının simültane olarak (kendiliğinden) gerçekleştiği düşünüldüğünde, Ellingham diyagramlarında $RT \ln(P_{\text{O}_2})$ ifadesi kullanıldığında diyagram çok daha hassas olarak elde edilebilmektedir.

Bu pratik uygulama ilk kez Richardson tarafından düşünülmüş olup Şekil 6.3 de gösterilmiştir. Sabit basınç çizgisi oksijenin kısmi basıncını göstermek için $\Delta G^\circ=0$ çizgisi olarak düşünülebilir. Bu sebeple, herhangi bir oksidasyon reaksiyonu çizgisinin Richardson çizgisi ile kesişmesi, bu kısmi oksidasyon basıncı için denge sıcaklığını gösterir. Bu durumda hem oksidasyon kısmi basıncının hem de sıcaklığın etkisi birlikte düşünülmüş olur.



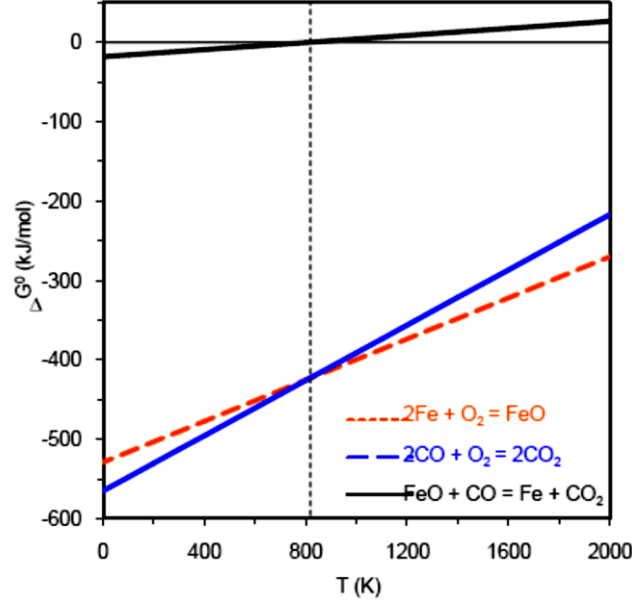
Şekil 6.3. Alınan bir mol O_2 nin 1 atm basınçtan tespit edilen bir basınca getirilmesi ile Gibbs serbest enerjisinin sıcaklık ile değişimi

Şekil 6.3'den, oksijenin azalmasının redüksiyon şartlarının gelişmesini sağlayan bir yol olduğu görülmektedir. Şüphesiz, oksijen zayıf bir ortam vakum uygulanarak sağlanabilir, ancak, bu pratik uygulama çok verimsiz çalışan bir sistemi oluşturmaktadır. Daha önce bu sistemlerde çalışmış olan ve şartları belirleyen araştırmalarda olduğu gibi, *redükleyici şartlar*, oksijen ile öncelikli olarak oksitlenmiş olan çeşitli gazların var olduğu bir ortamda oluşturulabilmektedir. Örneğin kısmi oksijen gaz basıncının varlığı altında FeO ve CO in var olduğu bir sistemi

düşünelim (yani FeO; CO ve O₂ gaz karışımı içerisinde). Bu durumda, konu ile ilgili iki oksidasyon reaksiyonu gerçekleşebilir;



Bu iki reaksiyonun değerleri Şekil 6.4 de çizilecek olursa, bu iki reaksiyonun denge sıcaklığının 818.2 K derece olduğu görülür.



Şekil 6.4. Demirin oksitlenme ve CO ile redüklenme reaksiyonları için Ellingham diyagramı



İlk reaksiyonu ters çevirelim ve alt alta toplayalım.



Toplam reaksiyon,



Reaksiyonu sadeleştirirsek,



Bu durumda bu reaksiyon için denge sıcaklığı,

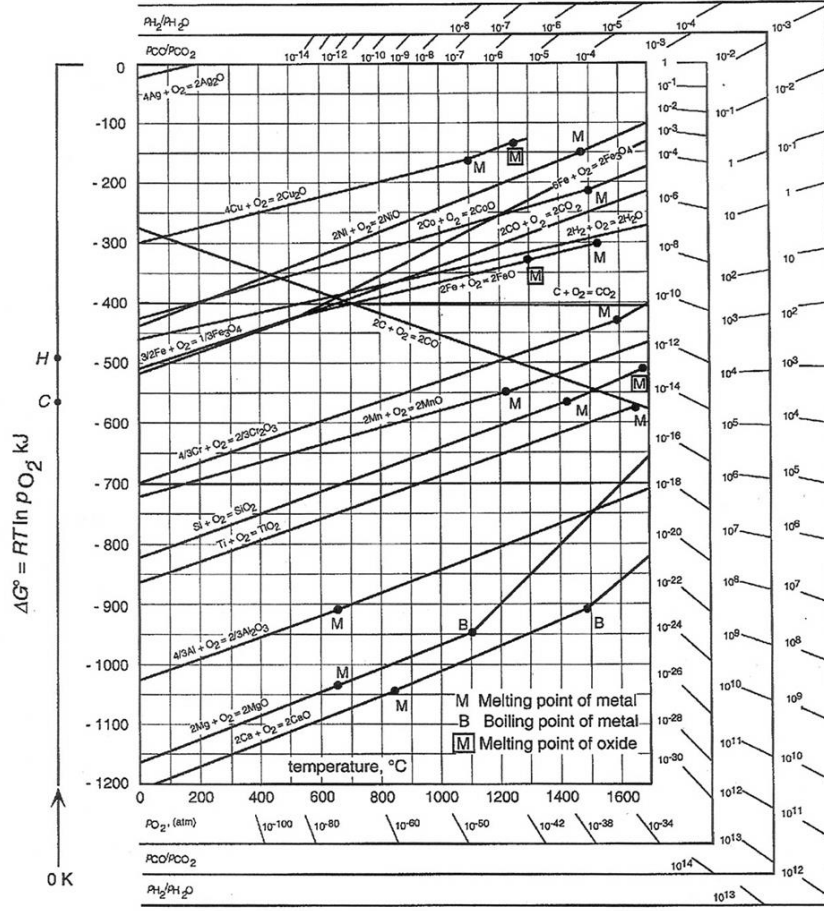
$$T_{\text{Denge}} = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = \frac{(18)}{(0.022)} = 818.2 \text{ K}$$

İlginç bir şekilde oksijen reaksiyonda görülmemektedir. Ancak, diğer gazlar görülmektedir. denge sabiti;

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = RT \ln \left[\frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}} \right]$$

Böylece 818.2 K de $\Delta G^\circ = 0$ olur ve $K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = 1$ dir.

Şekil 6.5 de “C” noktası, $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ reaksiyonunun çizgisinin serbest enerji çizgisini kestiği yeri belirtmektedir. Yukarıda tartışılan oksijen kısmi basıncının etkisinin ele alındığı Ellingham diyagramına benzer olarak, $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}}$ çizgilerinin yer aldığı Ellingham diyagramı “C” noktasında başlamaktadır.

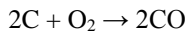
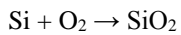


Şekil 6.5. Ellingham diyagramı

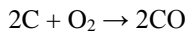
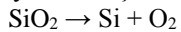
$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ reaksiyonu için gerekli olan 818.2 K denge sıcaklığı bir kez daha ele alınacak olunursa, denge şartlarında daha yüksek sıcaklık, daha düşük $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}}$ değerini göstermektedir. Böylece, $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}} = 1$ değerinde bir atmosferde FeO’i redükler. Benzer şekilde, düşük sıcaklıklarda $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}} = 1$ değeri demir için oksidasyona uğratici bir atmosferdir. Bu durum bize oksit halinden metalik hale demirin geçebilmesi için, redükleyici bir atmosfer ve yüksek sıcaklığın birlikte var olması gerektiğini göstermektedir. Ayrışmanın gerçekleşmesi için gerekli sıcaklık, $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}}$ oranı ile gösterildiği gibi gazın redükleme gücündeki bir artışla azalmaktadır.

Örnek 6.1. Gang bileşiminden gelen silikanın (SiO_2) karbonla redüksiyonunun olabilmesi için gereken reaksiyonu çıkarınız. Ellingham diyagramını kullanarak denge sıcaklığını ve denge serbest enerji değerini tespit ediniz.

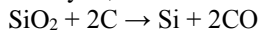
Çözüm.



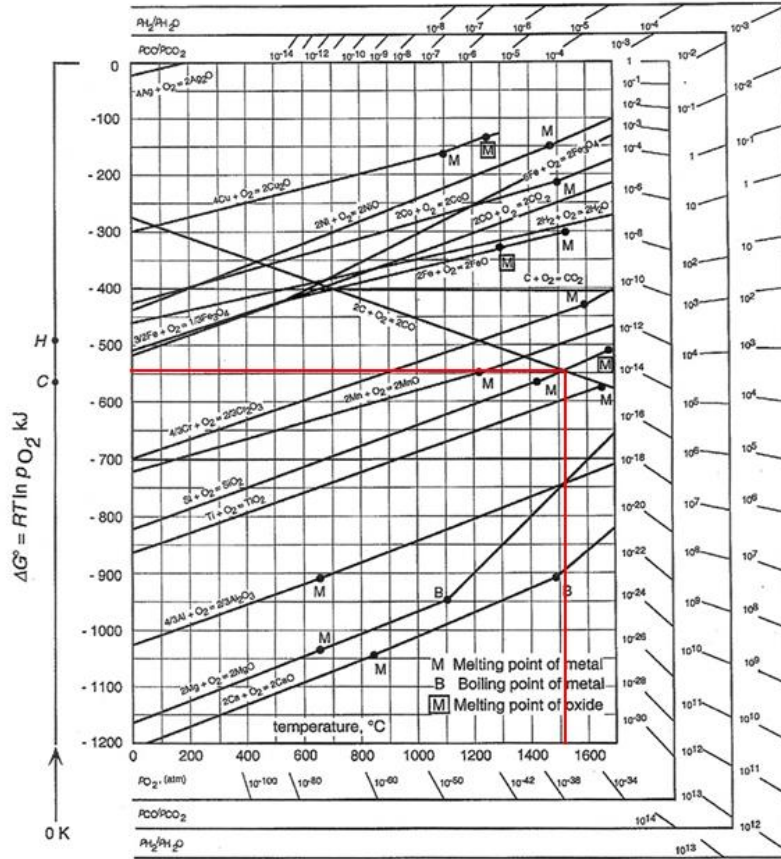
İlk reaksiyonu ters çevirelim,



Toplam reaksiyon;



Ellingham diyagramından bu reaksiyon için denge sıcaklığının yaklaşık 1520°C , toplam serbest enerji değerinin ise yaklaşık -540 kJ/mol olduğu görülecektir.



Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

Demir-Çelik ders notları, U.Şen/Ş. Yılmaz, 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Blast_furnace

<http://www.metallpass.com/metaldoc/paper.aspx?docID=44>

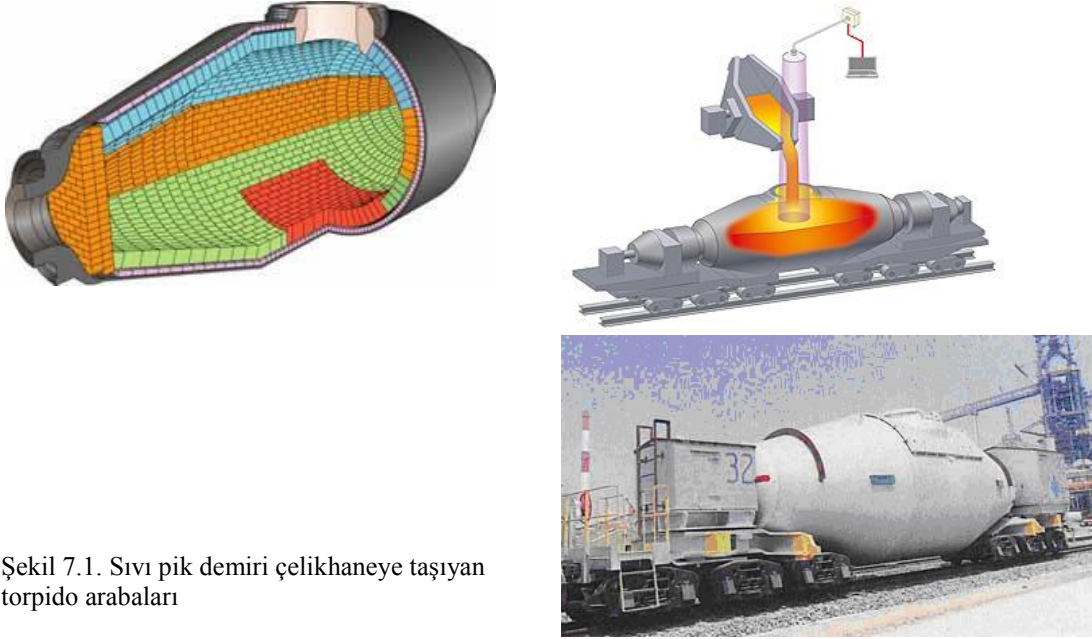
BÖLÜM 7

HAM DEMİRDEN ÇELİK ÜRETİMİ

7.1. Ham Demirin Çelikhaneye Nakli

Ham demir üretiminde sıvı metal (pik) veya doğrudan redüklenmiş demir içindeki yüksek oranlardaki karbon ve eser elementlerin tamamıyla veya en azından önemli oranda uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu durum, ham demirden çelik üretiminin temel amacıdır. İlave olarak korozyon dayanımı, işlenebilirlik, yüksek sıcaklık mukavemeti veya yüksek çekme dayanımı gibi belli spesifik özellikler, tanımlanan analiz limitleri ile uyumlu bir şekilde alaşım ilavesi yapılarak çeliğe kazandırılmaktadır.

Yüksek fırından gelen sıvı metal, önce kükürt uzaklaştırma işlemine, bazen silis ve fosfor uzaklaştırma işlemine tabi tutulur. Bu işlemler rafinasyon işlemini basitleştirir. Sıvı metal, çelik fabrikasına transfer potaları veya torpido arabalarla (Şekil 7.1) taşınır. Çelik fabrikasının içinde sıvı metal bu potalarda veya torpido arabalarında depolanabilir, eğilebilen sıvı metal mikserlerinde ısıtılabilir. Sıvı metal mikserleri silindirik ve refrakterle astarlanmış tutma araçlarıdır. 1000 ile 1200 ton arasında taşıma kapasiteleri vardır. Bu gibi mikserlerde yapılan ara depolama sayesinde sıvı metaldeki bileşim farklılıkları ortadan kalkar. Ayrıca bu mikserler, sıvı metal üretimi ile talep arasındaki dalgalanmaları da azaltır.

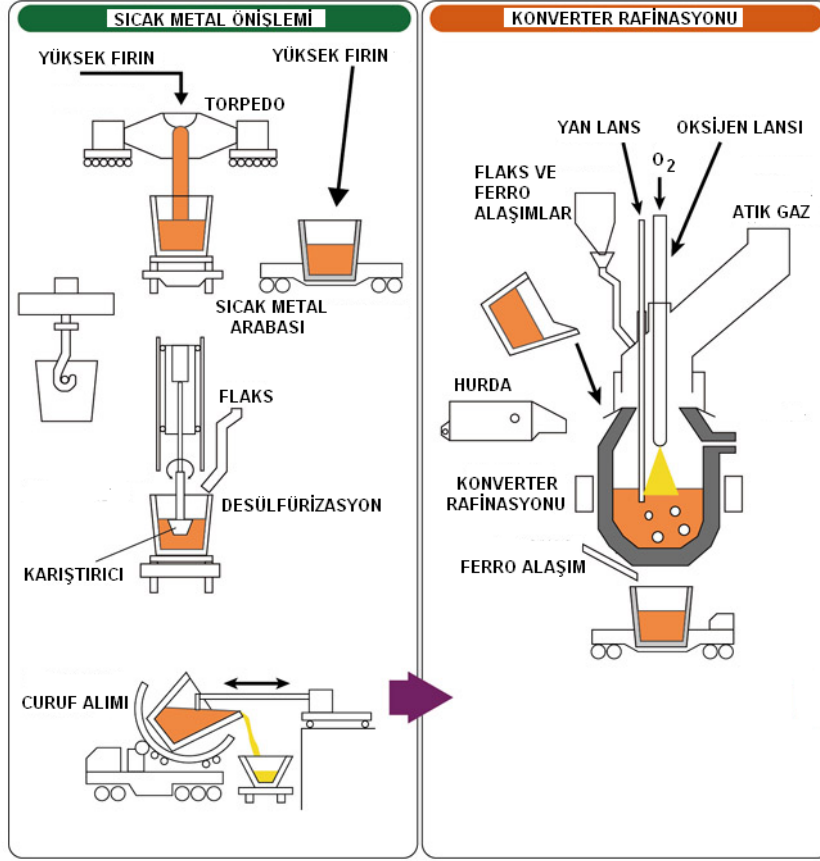


Şekil 7.1. Sıvı pik demiri çelikhaneye taşıyan torpido arabaları

7.2. Sıvı Metale Uygulanan Ön İşlemler

Genellikle yüksek fırında izabe işlemi ve akabinde çelikhanede çelik üretim işlemi birbirine bağlı işlemlerdir. Fakat hem tek tek, hem de birlikte optimize edilmesi gereken aşamalardır. Örneğin yüksek fırında üretilen ve çeliğe dönüştürülmeden önce hazırlanan konvertere sevk edilmek üzere, sıvı metal önce istenmeyen eser elementlerin (kükürt, silis ve fosfor gibi) içeriklerinin azaltılması için ön işleme tabi tutulur.

Kükürt oranını düşürmek için kükürt uzaklaştırmada, kalsiyum karbür veya magnezyum karbür gibi malzemeler kullanılır. Bu malzemeler ya taşıyıcı bir potadaki veya çelikhanenin sıvı metal şarj eden potasındaki bir boru vasıtasıyla eklenir. Kükürt curuf içerisine hapsedilir. Prensip olarak sıvı metalin kompozisyonu ve kimyasalların kendisinin çevre ile uyumuna göre daha uygun ve farklı kükürt uzaklaştırma prosesleri ve malzemeleri vardır. Kükürt uzaklaştırma prosesine ek olarak, sıvı metal silisyumdan ve ardından fosfordan arındırılabilir. Silisyum içeriği demir oksitler (cevher) eklenerek düşürülebilirken, fosfor uzaklaştırma kireçli flakslar yardımıyla gerçekleştirilir. Bu proseslerde de silis ve fosfor, curufa hapsedilir.



Şekil 7.2. Pik demirin ön işlem ve BOF da rafinasyon işlemi

7.3. Rafinasyon İşlemi

Sıvı metal içindeki eser (çok az) elementlerin uzaklaştırılması, sıvı metal içine oksijen verip yanma sağlayarak yapılır. Bu kimyasal anlamda oksidasyon demektir. Dolayısıyla bu işlem için devamlı oksijen temini gerekmektedir. Çelik endüstrisinde bu yanma işlemi rafinasyon olarak adlandırılır.

Rafinasyonun temel amaçları;

- 1) karbon miktarını istenen miktara getirmek
- 2) istenmeyen elementlerin miktarını azaltmak veya gidermek
- 3) alaşım elementi ilavesiyle özel bileşimlerde çelik oluşturmak

Karbon fazlalığının oksidasyon ile yakımının yanı sıra, rafinasyon sırasında bir çok başka reaksiyonlar da meydana gelmektedir. Eser elementlerin sıcaklığa bağlı olarak değişen oksijene olan ilgisi (afinitesi), bu elementleri etkisiz bileşikler halinde bağlama çalışmaları için çok önemli bir destektir.

Rafinasyon işleminin en önemli kademesi karbonun azaltılmasıdır. Burada üstten veya alttan üflenen oksijen, sıvı metaldeki karbon ile yanıcı gaz olan CO oluşturmak üzere reaksiyona girer. İkinci önemli kademede ise, örnek olarak sıvı metaldeki silisi SiO_2 haline çevirmek ve kireç ile bağ oluşturup curufa çekmektir. Sıvı metaldeki kükürt de yanmış kireçle doğrudan reaksiyona girer. Sonuçta silis, mangan, kükürt ve fosfor gibi bileşenler rafine edilir.

Sıvı metalin rafinasyonu esnasında ortama aşırı miktarda oksijen gönderildiğinden sıvı çelik içinde önemli miktarda oksijen çözünür. Bir sonraki kademe olan deoksidasyon ile son ürüne zararı dokunacak olan oksijen ortamdan uzaklaştırılır.

7.4. Rafinasyon İşlemindeki Gelişmeler

Modern çağda kitle halinde çelik üretimi 19. Yüzyılda Thomas-Bessemer yöntemleri ve Siemens-Martin (Open Heart) yönteminin geliştirilmesi ile başladı. Günümüzde, hammaddenin cinsi, ön hazırlık, şekil ve kullanılabilecek enerjinin çeşidi göz önüne alınarak, rafinasyon işlemlerinin birçok farklı tekniği geliştirilmiştir. Bu tekniklerin birçoğu modası geçmiş olarak nitelendirilebilir. Ama şimdiki çelik yapım teknolojisi seviyesine bu teknikler sayesinde gelindiği unutulmamalıdır.

Günümüzde çelik üretiminde uygulanan iki ana proses kategorisi vardır.

- Bazik oksijen çelik yapım yöntemi.
- Elektrik ile çelik yapım yöntemi

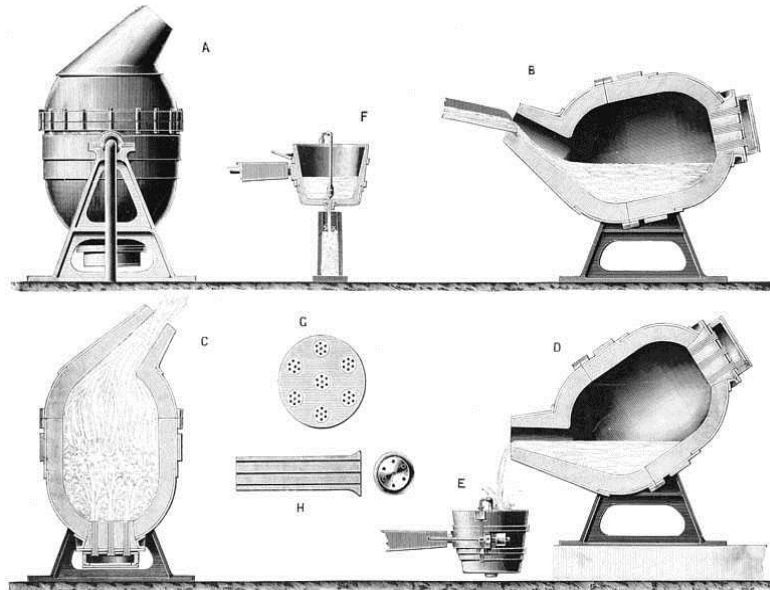
1945 yılından sonra geliştirilen bazik oksijen çelik yapım yöntemi ile kitle çelik üretiminde yeni bir akım yaratılmıştır ve günümüzde bu yöntem dünya çelik üretiminin %65'ini teşkil etmektedir. Son 25 senede yapılmış olan teknik iyileştirmelerden dolayı elektrikle çelik yapım yöntemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. O da günümüzde %32'sini teşkil etmektedir. Diğer taraftan Siemens-Martin yöntemi, çevresel nedenlerden dolayı ve yeni yöntemlerle kıyaslandığında düşük verimliliği nedeniyle önemini kaybetmiştir. Bu yöntem ile üretilen miktar dünya çelik üretiminin %3'ün teşkil etmektedir. Bu yöntem artık batı yarım küre ülkelerinde hiç kullanılmamaktadır. Geniş bir şekilde elektrik ile çelik yapım yöntemleri ile yer değiştirmiştir. Önümüzdeki yıllar içerisinde Siemens-Martin yönteminin de tamamıyla terk edilebileceği tahmin edilebilir.

Entegre demir-çelik fabrikalarında üretilen ön gerilmeli çelik ve sıcak banttıan çekme profiller gibi belli ürün grupları söz konusu olduğunda, elektrikle çelik yapımı bu tür ürünlerin imalatında, çok esnek bir üretim imkânı sunmaktadır. Hatta elektrik ark ocağı katı haldeki doğrudan redüklenmiş demiri ergitmeye çok uygundur. Bu yöntemlerden birini veya değerini seçmede en önemli kriter, hammadde ve enerji kaynaklarına bağlıdır. Ve tabii ki son teknik gereksinimlere göre en düşük maliyetli üretimin hangi yöntemle sunulduğuna da bağlıdır.

7.5. Oksijen ile Çelik Üretimi

Bazik oksijen ile yapılan üretim en önemli olanıdır. Bu başlık altında yer alan değişik yöntemlerin hepsinin ortak özelliği teknik olarak saf oksijen kullanılmasıdır (oksijen metalürjisi).

Hava ile rafinasyon yöntemini geliştiren Henry Bessemer, 1855 yılında saf oksijen rafinasyona en uygun gaz olduğunu anladı. Bununla birlikte, o zamanlar saf oksijen üretimi mümkün değildi. Sonuç olarak, hem Bessemer hem de Thomas yöntemleri alttan üfleme tekniği olarak geliştirildi. Bu yöntemde hava sıvı metalin altından nozul benzeri bir tapadan enjekte edilir ve böylece havadan gelen oksijen eser elementlerini ve karbonu yakardı.

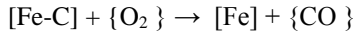
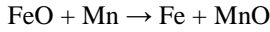
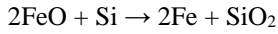
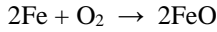


Şekil 7.3. Bessemer konverteri

Bessemer yönteminde, yüksek silisli ve az fosforlu sıvı metal, bir asidik astarlı konverter içinde çeliğe rafine edilirken, Thomas yönteminde (bazık Bessemer yöntemi olarak daha çok bilinir) oldukça yüksek oranlarda kükürt ve fosfor içeren sıvı metal, bir bazık astarlı refrakter içeren konverterde çeliğe dönüştürülür. Her iki yöntemde de rafinasyon basamağında ısı ortaya çıkar. Üretilen çeliğin düşük kalitesi ve oksijen metalurjisine kıyasla, maliyetlerin düşük olmaması yüzünden bu iki yöntemin yerine günümüzde başkaları tercih edilmektedir. Bununla birlikte, yeni oksijen çelik yapım yöntemleri, gerek işlem basamağı ve gerekse tesis teknolojisi açısından bu yöntemlerin belli temel özelliklerini uyarlamıştır. Saf oksijenin kullanımı, daha önce kullanılan havada azot olmadığından dolayı, maliyet etkinliğini artırarak önemli oranda rafinasyon reaksiyonlarını hızlandırır. Şimdi 10 ile 20 dakika süren rafinasyon reaksiyonunda sıvı metaldeki elementler öyle bir hızla yanar ki önemli miktarlarda ısı açığa çıkar ve sıvı metal hurda eklenerek soğutulabilir. Konverter kapasitelerinde ve verimlerinde son zamanlarda çok büyük gelişmeler yaşanmıştır. Bu da çelik fabrikalarının üretkenliği ve verimliliğinde çok büyük artışlara sebep olmuştur. Rafinasyon işlemlerinin yapıldığı konverterler günümüzde eğilebilir ve refrakter astarlıdır. Her bir ergitmedeki kapasiteleri 50 ile 400 ton arasındadır. Bessemer konverteri, üstü kesik koni biçiminde silindirik bir kaptır. Konverterin tabanında metal banyosuna basınçlı hava üfleme için delikler (tüyerler) vardır, tabanın altında ise hava kutusu bulunur. Konverter yatay bir eksen etrafında 180 ° kadar dönebilecek şekilde 2 yatak üzerine oturtulmuştur. Bu yataklardan birine bağlanmış otomatik vana vasıtasıyla basınçlı havanın fırına verilmesi sağlanır. Bessemer, geliştirdiği konverterde *SiO₂ esaslı asidik astar (refrakter)* kullanmıştır. Konverter eğilerek yüksek fırından alınan sıcak sıvı pik demir konverterin ağzından boşaltılır, hava açılır ve dikey konuma getirilir.

I. periyod:

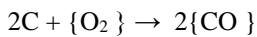
İlk kademede fırının ağzında hiç alev görülmez. Bu sürede erimiş pik demir ile temas eden soğuk hava demiri FeO şeklinde oksitler ve FeO banyo içinde dağılarak silisyum ve manganeksi oksitler.



Bu reaksiyonlar ısı verici olduklarından banyonun sıcaklığını oldukça yükseltir. SiO₂, MnO ve bir miktar FeO birleşerek curufu meydana getirir.

II. periyod:

Manganez ve silisyumun büyük bir kısmı oksitlendikten sonra karbon yanmaya başlar.



CO konverterin ağzına geldiği zaman yanarak CO₂ meydana getirir ve uzun bir alev oluşturur. Bu alev azaldığı zaman konverter devrilir, hava kesilir ve çelik potaya alınır. Önceleri çeliği sıvı halde tutmayı başaramayan fırınlar bu yöntemle hem istenmeyen maddeleri yakmayı hem de bu yanan maddelerden açığa çıkan enerji ile çeliği sıvı halde tutabilmeyi başarmıştı. Önceleri çok uzun ve pahalı olan çelik elde etme yöntemi artık hızlanmış ve daha ucuz hale gelmiş bu sayede çelik kullanımı da üretim sektöründe yerini almıştı.

Ham demirde çok miktarda silisyum az miktarda fosfor ve kükürt bulunması istenir. *Silisyum* bu yöntemin ısı üreticisidir. Asidik bir cüruf halinde yanar. Bu nedenle fosfor ve kükürdü bağlayamaz. Fırının duvar yapısı da asidik kuvars esaslı refrakterlerden meydana gelmiştir. Bu yöntem Almanya'da yalnız çelik dökümhanelerinde küçük konverterler içerisinde uygulanmaktadır.

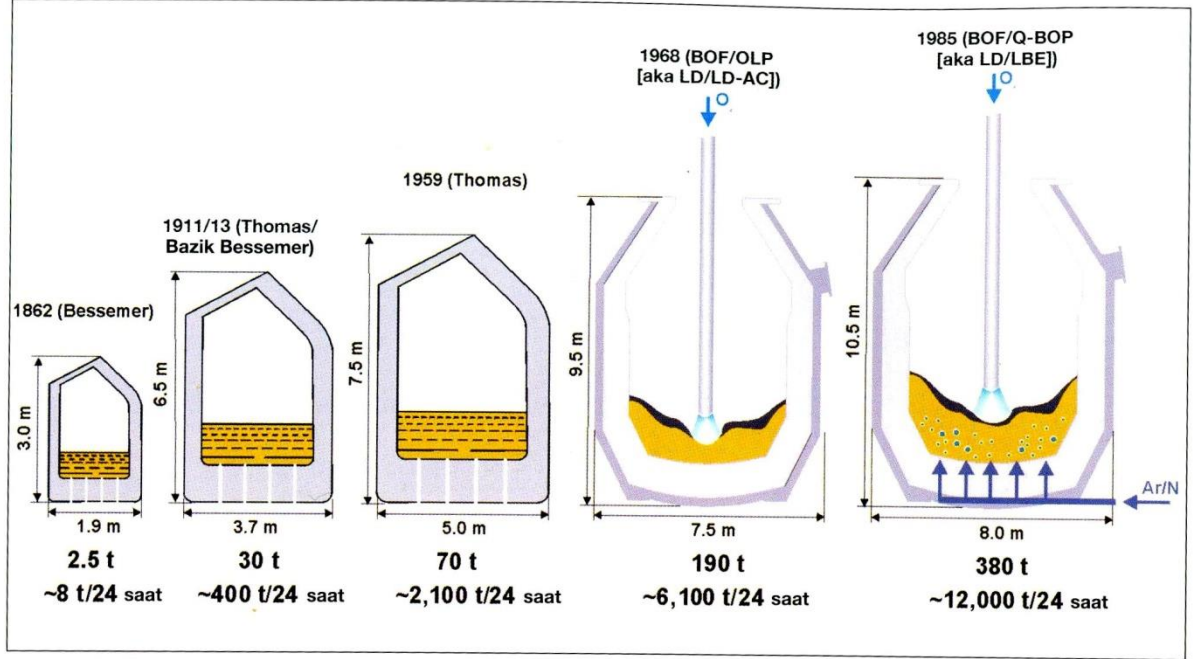
Bessemer yönteminin avantajları

- a) Bu yöntem ile kısa sürede (15 dk) çok miktarda çelik üretmek mümkündür.
- b) Pik demirin bünyesindeki yabancı maddeler (karbon, manganez, silisyum) süratle yok edilebilir.

Bessemer yönteminin dezavantajları

- a) Hurdanın ergime sıcaklığının yüksek olması nedeniyle bu yöntemde hurda işlenemez.
- b) Yüksek oranda kükürt ve fosfor içeren pik demirden bu yöntemle çelik üretilmez.

Bazik oksijen çelik yapım yöntemleri ilk olarak ilan edildiğinde, Thomas ve Bessemer yöntemlerini koruma ve oksijenin banyonun altından enjekte edilmesi çabaları vardı. Ama oksijen kaynaklı reaksiyonların çok güçlü olması, konverterin altındaki refrakter astarların çok çabuk aşınması ile sonuçlandı. Bu nedenle oksijenin üstten su soğutmalı bir üfleme borusu vasıtasıyla ile üflenmesi gibi alternatif çözüm bulundu. Bu teknik, maliyet açısından da fayda getiren çeşitli üstten üflemleri oksijen yöntemlerinin de gelişmesine yol açarak dünya çapında hızla kabul gördü. Bununla birlikte, alttan üflemenin avantajı o kadar daha fazlaydı ki, oksijen üfleme denemeleri uzunca bir süre devam etti. 1960'ların sonunda, oksijenin alt nozullar vasıtası ve redükleyici veya koruyucu gaz zarfı içinde enjekte edildiği bir alttan üfleme yöntemi geliştirildi.



Şekil 7.4. Konverter büyüklüğü ve kapasitesindeki gelişim

7.5.1. Saf Oksijen ile Rafinasyon

Üstten saf oksijen üflemleri rafinasyon, banyoya 12 bara kadar varan yüksek basınçlarda oksijen jeti üflenerek yapılır. Oluşan kuvvetli bir reaksiyon ile demir, demir okside oksitlenir ve karbon da karbon monoksit olur. Ama demir oksit, oksijeni hemen iz elementlerine aktarır. Bu reaksiyonun merkezindeki, çekirdeklenme bölgesindeki sıcaklıklar 2500°C ile 3000°C civarındadır ve kuvvetli bir karıştırma etkisi oluşturur. Rafine olmayan kısımlar karıştırmanın etkisi ile bu bölgeye giderek rafine olur.

Rafinasyon işleminin sonuna kadar artan karbon monoksit, bir maden suyu şişesinden karbon dioksit kabarcıklarının çıkması gibi sıvı metalin karışmasını sağlayarak çıkış yapar. İz elementlerin oksijen ile ve demir oksitle olan reaksiyonu çekirdeklenme bölgesini geliştirerek, hızla reaktif cüruf oluşumuna yol açar. Demir çıkışı ve yükselen karbon monoksit, tamamıyla veya en azından kısmen konverteri dolduran demir içeren bir cüruf sıvısı oluşturur. Sıvı metal üzerinde reaksiyon oluşumu için bir boşluk bırakılır. Başka bir deyişle, konverterin kapasitesi, sıvı metalin başlangıçtaki hacminden oldukça daha büyüktür.

Üfleme devam ederken, sıvı metal içerisindeki karbon, fosfor, mangan ve silis içerikleri sürekli azalır. Oysa Thomas işleminde fosfor içeriği, oldukça yüksek dekarburizasyon seviyelerindeki proses ile ancak zor bir şekilde değiştirilebilir. Üstten üflemleri oksijen yönteminde fosforu cürufa erken alma vasıtasıyla ve yanmadan sonra, rafinasyon işleminin özel kontrolü ile çok düşük oranda kalıntı içerik kalıncaya kadar elimine edilebilir.

Oksijenin ergiyiğin altından verildiği uygulamalarda, esas olarak üstten üflemlerindeki gibi aynı reaksiyonlar meydana gelir. Banyonun daha yoğun karışması ve bunun etkisiyle, daha iyi metalürjik sonuçlar (fosforun ve oksijenin uzaklaştırılması gibi) elde edilir ve aynı zamanda üfleme zamanı da azalır.

En önemli oksijenle çelik yapım yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- Üstten üflemleri oksijen yöntemleri (BOF/OLP prosesleri).
- Alttan üflemleri oksijen yöntemleri (Q-BOP prosesleri).

- Birleşmiş üfleme yöntemleri.
- Yeni özel yöntemler.

Oksijen metalürjisinin dünya çapında hızla kabulü sadece ilgili yöntemlerin maliyet düşüklüğünden ve onların mevcut koşullara adapte edilebilmelerinden değil; aynı zamanda özellikle yüksek kaliteli çeliklerin düşük fosfor, kükürt ve azot içerikleri ile üretilebilmesi yüzünden de kaynaklanmaktadır. Diğer yöntemlerle üretilen çeliklere göre kalite açısından hiçbir fark yoktur.

7.5.2. Proses Aşamaları ve Teçhizatlar

Üretim mühendisliğinde, çeşitli oksijen çelik yapım yöntemlerinden biri diğerine göre çok az değişiklik gösterir. Tam alttan üfleme yönteminde, konverterin olduğu tesisin bina yüksekliği düşük tutulabilir, çünkü üstten üfleme yapacak bir bek olmayacaktır. Daha önemli farklılıklar daha çok işlem basamaklarında yatar. Eğik ve boş durumdaki konvertere tavalar veya yükleme kasalarından boşalan hurda ile ısı oluşmaya başlar. Sıvı metal potadan boşaltılır ve sonra konverter yeniden dikey konuma gelir. Prosese bağlı olarak, oksijen sonra üstten bir soğutma kanalından banyo yüzeyine ve/veya alt nozul tapasına doğru enjekte edilir. Sonra da ergiyeğin içinden fokurdayarak yukarı doğru çıkar. Karıştırıcı gazlar aynı zamanda bu kademede alt nozullar vasıtası ile de enjekte edilir. Kural olarak, su soğutmalı bekler çok delikli nozullar ile doldurulur ve oksijen akışının değiştirilebilmesi için, bir veya daha çok devreli sistemler haline gelir. Gerekli curuf yapıcılar ve alaşımlayıcılar hassas bir ölçümle hem başlangıçta hem de üfleme sırasında otomatik olarak konverterin üzerine monte edilmiş silolardan ilave edilir.

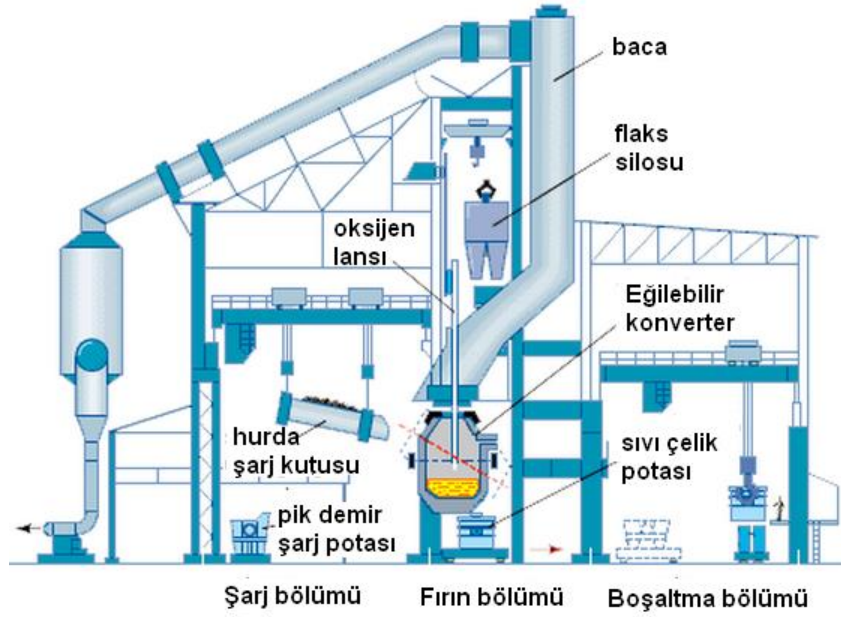
Üfleme kademesi tamamlandığında, alaşımın bileşiminin istenilen analizde olup olmadığını (otomatik olarak yapılır) kontrolü için bir numune alınır. Aynı zamanda sıvı çeliğin sıcaklığı da ölçülür. Bu işlem ara borusu olarak adlandırılan ve banyoya daldırılan bir boru ile yapılır. Çelik banyosu 1650°C ile 1720°C arasındaki sıcaklıklarda iken, bir sonraki ikincil metalürji kademesine bağlı olarak döküm yapılır. Sıcaklığı yakından gözlemlemek; rafine edilmiş çeliğin kalitesi bakımından ve üfleme sonrası işlemlerde ve/veya daha ileri ilavelerin eklenmesi gibi tamamlayıcı işlemlerin yapılmasında operatör için çok iyi bir veridir. Otomatik, dinamik proses kontroller sayesinde, günümüzde yüksek hassasiyetli sıvı metal analizi elde edilebilir. Böylelikle üfleme sonrasında meydana gelebilecek uygunsuzluklar oldukça azaltılabilir.

Günümüzde döküm işlemi, çeliğin aşağı doğru akmasını sağlamak için konverterin eğilmesi ile yapılır. Çelik, potaya bir döküm deliğinden akar. Çeliğin yüzeyinde duran curuf (sıvı çeliğe göre yoğunluğu daha düşük olduğundan) döküm öncesinde ve sonrasında konverterde kalır ve farklı bir işlemle alınır. Döküm süresinin sonuna doğru, curufun çeliğe karışma tehlikesi artar. Curufun çeliğe bulaşmasını önlemek için, çeşitli curuf saptama ve önleme yöntemleri geliştirilmiştir. Örneğin kızıl ötesi kamera düzenekleri veya elektromanyetik rulo sistemleri. Bu sayede curuf karışması zamanında önlenir ve dökülen çeliğin curufsuz olmasını sağlamak için dik duruma getirilir. Pota ters yönde biraz yatırılarak, curufun konverterin çemberi üzerinden akması sağlanır. Genellikle curuf, bir sonraki üflemede de bir miktar kullanılması için tamamıyla alınmaz. Bu bir miktar curuf, aynı zamanda konverterin astarı olan refrakter üzerindeki koruyucu tabakayı oluşturmak için de kullanılabilir. Deoksidanların ilave edildiği gibi, ferro-mangan ve diğer alaşım elementleri de ham çelik dökülürken çeşitli yollarla ilave edilebilir. 10 ile 20 dakika olan üfleme süresine; doldurma ve boşaltma, sıcaklık ölçme ve numune alma işlemlerinin süreleri de eklendiğinde, dökümden döküme olan zaman 30 ile 40 dakika civarına gelir.

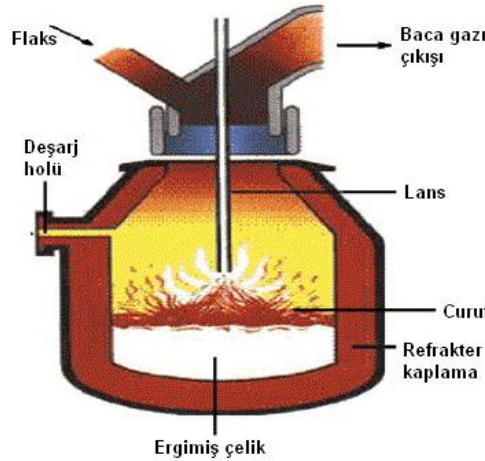
Diğer işletmelerin binalarından farklı olarak (şarj hazırlama ve dökümhane gibi), oksijen çelikhanesi aynı zamanda toz arıtma tesisi de barındırır. Burada karbon monoksit ve karbon dioksit içeren konverter gazlarının çoğu toplanır, soğutulur ve tozdan arındırılır. Modern toz tesisleri CO gaz temizlemesi ve dönüşümü üzerine yoğunlaşır. Buna basınçlı yanma ve takip eden primer gazların yıkanması da dahildir. Temizlenmiş gaz, enerji zenginleştirme aşamasından bir gaz tankında saklanır ve sonra yakıt olarak kullanılır. Böylelikle gaz dönüşümü işlemin enerji maliyetlerini önemli derecede azaltır.

7.5.3. Üstten Üfleme Oksijen İşlemleri (BOF ve OLP)

Oksijen metalürjisinin ilk zamanlarında geliştirilen, BOF (Basic Oxygen Furnace-yani “LD”) işlemi ve OLP (Oxygen Lance Process- yani “LD-AC”) işlemleri, oksijenin banyo yüzeyine yukardan üflenmesi esasına dayanır. İki işlem arasındaki fark sıvı metalin bileşimi için gerekli zamanlamaya dayanır. BOF yöntemi düşük fosforlu sıvı metalin rafine edilmesi için kullanılır ve bu yüzden sadece üfleme aşamasından oluşur. Diğer taraftan OLP yönteminde, yüksek fosforlu sıvı metal çeliğe iki aşamada dönüştürülür. Buna çift curuf uygulaması adı verilir ve OLP yönteminin düşük fosforlu sıvı metalde kullanılmamasının en önemli sebeplerinden birisidir.



Şekil 7.5. Bazik Oksijen Fırını ve yardımcı bölümler



7.6. Bazik oksijen fırını

Bazik oksijen fırınlarının kapasiteleri tipik olarak 250 ton kadardır. Bazik oksijen fırınlarında çelik üretimi yaklaşık 15-20 dakikada gerçekleştirilmektedir. 250 ton kapasitedeki bir BOF'nın yüksekliği 10,33 m, dış çapı 7,90 m, cidar kalınlığı 0,92 m ve çalışma hacmi 290 m³ kadardır. Fırına yüklenecek optimum sıvı metal ve hurda oranlarını, curuf yapıcı katkı maddelerinin miktarını, fırına oksijen üfleyen lansın yüksekliğini ve üfleme zamanını bilgisayarla otomatik olarak kontrol edilmektedir.

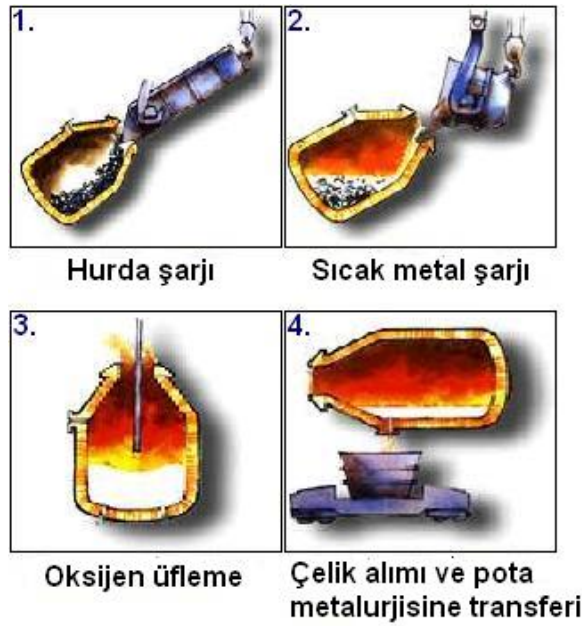
Bazik oksijen fırınlarında, genellikle % 70-80 oranında yüksek fırından gelen sıvı metal (sıvı pik) ile kalan kısmını çelik hurdası, kireçtaşı, dolomit ve deoksidantların oluşturduğu şarj kullanılır. Uygun döküm sıcaklığında istenilen karbon yüzdesine erişmek için konvertere şarj edilecek ham maddelerin cinslerinin ve miktarlarının ayarlanması gerekir. Fırın % 100 sıcak metal ile şarj edilir ve oksijen ile üflenirse, sıcak metal içindeki karbon ve diğer yabancı elemanların oksijen ile birleşmesi sonucunda çok fazla ısı meydana geldiğinden sonunda dökülemeyecek kadar sıcak bir çelik elde edilir. Bunu önlemek için konvertere soğutucu olarak hurda şarj edilir. Hurdanın erimesi karbon ve diğer yabancı elemanların yanması esnasında meydana gelir bu elemanların oksijen ile yanması sonucu verdikleri ısıya bağlıdır. Konverter, % 75 hurda ve % 25 sıcak pik demir ile şarj edilirse sıcak metal içindeki karbon ve diğer elemanların oksijen ile yanması sırasında verdikleri ısı hurdanın yalnız küçük kısmını eritir. Bu bakımdan fırınların uygun miktarlarda sıcak pik demir, hurda veya cevher ile şarj edilmesi gerekir.



Şekil 7.7 Bazik oksijen fırınına hurda şarjı



Şekil 7.8. Bazik oksijen fırınına sıvı metal (pik demiri) şarjı



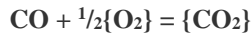
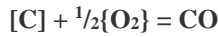
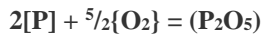
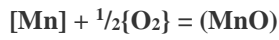
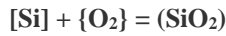
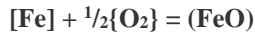
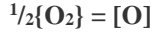
Şekil 7.9. BOF ile çelik üretim kademeleri

Silisyum oksijenle birleştiğinde sıcak pik demir içindeki bütün elemanlardan çok daha fazla bir reaksiyon ısısı meydana getirir. Bu ısı manganezin oksijen ile birleşmesi sonucu meydana gelen ısıdan yaklaşık olarak 2,5 kat, karbonun reaksiyon ısısından da 4 kat daha fazladır. Bu elemanların oksijene karşı afinitesi, Fe den fazla olduğundan önemli bir miktarda demir yanmadan önce, bu elemanlar çelik eldesi için uygun seviyelere kadar yanar. Normal olarak yüksek fırından alınan sıcak metalde az ısıveren elemanlar (karbon ve manganez) nispeten sabit miktarlarda bulunduğundan, konverter şarjının hesaplanmasında yalnız silisyum yüzdesi göz önüne alınır. Karbon ve manganez miktarlarında büyük değişimler olduğu zaman şarjın hesaplanmasında düzeltmeler yapılması gerekir.

Bu bakımdan, genel olarak **konvertelere şarj edilebilecek hurda miktarı sıcak pik demir içindeki silisyum yüzdesine** bağlıdır. Konvertelere kok veya tabii gaz gibi herhangi bir ilâve yakıt verildiğinde daha fazla hurda şarj edilebilir. Silisyum ile hurda arasındaki ilişki işletme şartlarına bağlı olarak değişir, bundan dolayı her işletme tecrübeleri sonucu kendi şartlarına uygun olan bağıntıyı tespit eder.

Genel olarak oksijen borusu, sıvı şarjın yüzeyinde- takriben 180 cm. yukarısındadır ve su soğutmalı olarak çalışmaktadır. Yüksek saflıktaki oksijen gazı (% 99,5 oksijen) normal olarak 10-12 kg/cm² basınç altında büyük bir hızla püskürtme lansından çıkar. 100 tonluk bir fırın 64 mm çapında bir oksijen borusu vasıtasıyla dakikada 200-225 m³ oksijen kullanmaktadır. Oksijen verilmeğe başladıktan hemen sonra üst kattaki bir silo sisteminden belirli miktarlarda kireç (CaO), fluşpat (CaF₂), dolomit, kolemanit ve tufal (FeO) gibi cüruf yapıcı katkı maddeleri fırına ilave edilir. İstenilen baziklik derecesinde ve akıcılıkta curuf yapılmasına yarayan bu maddeler fırını örten

ve su ile soğutulan bir davlumbazın yan tarafındaki eğik bir oluk vasıtasıyla ilâve edilir. Kireç sıcak pik demir içindeki Si ve P gibi istenmeyen elemanlarla birleşerek curufu meydana getirir. Oksijenin kısmen kimyasal ve kısmen banyoyu karıştırıcı etkisi vardır. Basınçlı oksijen banyoyu şiddetle karıştırdığından tasfiye reaksiyonları hızlanır. Oksijen sıvı şarjın yüzeyine çarpar çarpmaz demir oksidin oluşumuna sebep olan reaksiyonları başlatır. Demir oksidin bir kısmı hemen banyonun her tarafına dağılır. Bu sırada karbon yanarak karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO₂) meydana gelir. Bu da şiddetli bir kaynama oluşturur. Ayrıca bu arada şarjdaki silisyum, mangan, fosfor ve kükürtte oksitlenir. Oksijen sıvı pikte bulunan karbon ve silisyumu oksitleyerek katı hurdayı eritebilecek ısıyı açığa çıkarır. Sıvı metaldeki silisyum SiO₂'e dönüşür ve bu SiO₂ diğer curuf yapıcılarla reaksiyona girer. Ayrıca sıvı pikteki manganın, demirin ve fosforun oksidasyonu ile de ortama bir miktar ısı katkısı sağlanmaktadır. BOF da gerçekleşen genel reaksiyonlar aşağıda verilmiştir. { } işareti lancedan üflenen oksijeni, [] işareti sıvı çelikte bulunan bileşeni, () işareti ise curufa geçen katı oluşumu göstermektedir.



Genel olarak curufun baziklik derecesinin yani cüruftaki kalsiyum oksidin silisyum oksite oranının 3 olması ($CaO/SiO_2 = 3$) istenir. Bu oran, çeliğin içinde kalan S ve P miktarının kabul sınırlarının altında olması için yeterli kireç ilâvesini mümkün kılar. Ayrıca, yeterli kireç ilâve edilmezse bir kısım silisyum oksit bazik özellikte olan magnezit tuğlalarla birleşir. Bu da refrakter astarın çabuk aşınmasına sebep olur.

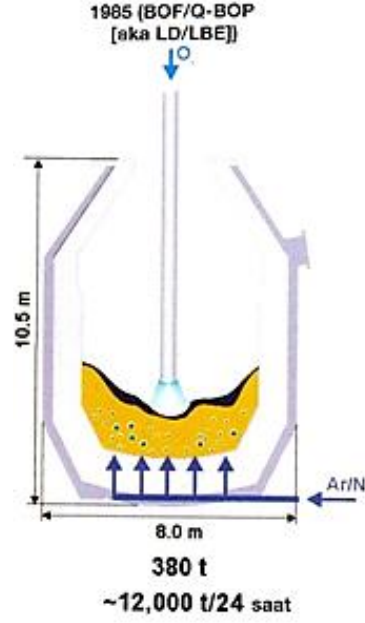
Üfleme sırasında, fırından kırmızı - kahverengi ve toz yüklü bir duman çıkar. Bu duman su ile soğutulan davlumbaz vasıtasıyla «toz toplama sistemi» ne gönderilerek temizlenir. Bacadan temizlenmiş duman çıkar. Karbonun yanması sonunda konverterin ağızındaki alev azalır. Üflemenin sonu, istenilen karbon yüzdesine erişildiği alçak karbonlu dökümlerde konverterin ağızından çıkan alevin görünüşü ile % 0,20 ve daha yüksek karbonlu dökümlerde ise sıcak metal tonu başına sarf edilen oksijen miktarı ile kabaca tespit edilir. Bundan sonra oksijen kesilir, oksijen borusu yukarı alınarak fırın eğilir ve daldırma termokupl ile banyonun sıcaklığı ölçülür.

Düşük karbonlu çelikler için arzu edilen döküm sıcaklığı 1600-1610 °C dir. Sıcaklık döküm sıcaklığının üzerinde ise, banyonun soğuması için hesaplanmış miktarlarda hafif hurda ilâve edilir ve hurdanın banyo içinde dağılması için konverter sağa sola döndürülür. Hurda eridiği zaman diğer bir sıcaklık ölçümü yapılır. Şayet sıcaklık az ise kısa bir müddet tekrar üfleme ile arttırılabilir. Bu arada çelikten kepeç ile numune alınır ve elde edilen karbon, mangan v.s. miktarları doğru olarak tespit edilir. Karbon miktarı yüksek bulunduğu durumda tekrar üfleme ile azaltılır, gerekirse yeniden bir numune alınır. İstenilen döküm sıcaklığına ve karbon yüzdesine erişildiğinde fırın döküm tarafına eğilir ve metal, döküm deliğinden potaya alınır. Yapılacak çelik cinsine göre hesaplanan ilâve maddeleri, alaşımlar (ferro mangan, ferro-silisyum, alüminyum v.s.) ve kok potaya, bakır, nikel ve molibden ise fırına ilâve edilir. Döküm bittikten sonra fırın ters tarafa döndürülerek curuf alınır. Fırın boşaltıldıktan sonra ağız kısmını ve oksijen borusunu temizlemek gerekir, fakat genel olarak bir sonraki döküm için fırın hemen yüklenir. Şarjdan şarja geçen zaman (yükleme, çelikten numune alma, ve test zamanı dahil) 30-35 dakika arasındadır.

7.5.4. Altan Üfleme Oksijen Yöntemi (Q-BOP)

1960'ların sonunda, Almanya'da OBM (Oxygen-bottom-Maxhütte) adı altında, İngilizce konuşulan ülkelerde Q-BOP olarak bilinen, yeni bir oksijen üfleme tekniği geliştirildi. Orijinal Thomas (bazı Bessemer) yönteminin bir türevi olan Q-BOP yöntemi, saf oksijenin sıvı metal içine bir nozul içinden verilmesi şeklinde yapılır. Yüksek baskı altındaki alt tapanın esnekliği her bir nozulun patentli bir yöntemle soğutulması ile sağlanır.

Q-BOP prosesinin birçok avantajları vardır. Bunlardan birincisi üstten üfleme oksijen borusu yöntemine göre daha iyi bir karıştırma elde edilebildiği için, dökümden döküme geçen zamanın daha kısa olmasıdır. Diğer avantajları ise kahverengi dumanın daha az olması, daha yüksek oranda hurda kullanılabilmesi ve daha hızlı bir akışın olmasıdır.



7.10. Q-BOP Fırını

7.5.5. Birleşik Üfleme Prosesleri

Başlangıçta en hakim yöntem olan üstten üfleme prosesleri, çeşitli dezavantajları yüzünden engellenmiştir. Banyonun eksik ve beklentileri karşılamayan karıştırma seviyesi yüzünden, istenilen sıvı bileşimini elde etmek için oksijenin daha yüksek bir akışla akması gerekiyordu. Bu durum genelde çelik içerisinde fazla miktarda oksijen içeriğinin bulunmasına sebep oluyordu. Altan üfleme prosesin geliştirilmesi ile bu dezavantaj ortadan kalktı. Ama bu proses ile ortaya çıkan yüksek olası hurda oranı da bir taraftan azaltılmaktadır.

Bu proseslerden sonra geliştirilmekte olan yeni projelerden hedef; üstten üflemede daha iyi metalürjik sonuçlar almak, alttan üflemede de artan hurda oranını azaltmak üzerine kuruludur. Günümüzde, bu hedefler gittikçe daha çok kullanılan, birleşik oksijen üfleme prosesler vasıtasıyla geniş bir şekilde elde edilebilmektedir. Birleşik üfleme proseslerin ana değişkenleri:

- Alt tarafa doğru karıştırma yapan inert gazlı üstten oksijen üfleme.
- Üstten oksijen üfleme ve alttan oksijen üfleme.

Birleşik üfleme prosesinin değişik türleri, üfleme boruları, ilave nozulların konverterin ağzında yerleşimi, alt tapalar, nozullar ve kabarcık tuğlaları, ilave yakıtlar, inert gazlar ve uygulanan hurda oranları açısından, birinden bir diğerine farklılık gösterir. Birleşik üfleme prosesinin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

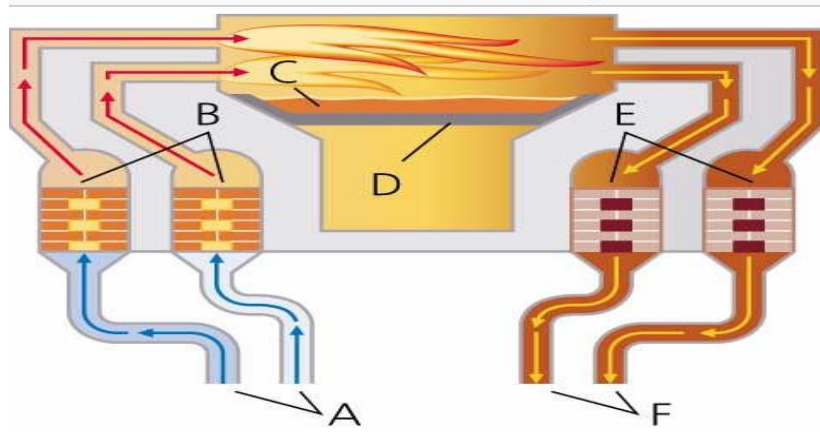
- Hurdanın hızlı ergimesinden dolayı homojen ergiyik
- Üfleme safhasının ivmelenerek hızlanması
- Demirin ve alaşım elementlerinin hızlı akışı
- Ergiyik için gerekli kimyasal bileşim elde etmek için geliştirilmiş hassasiyet.
- Gelişmiş temizlik
- Daha az curuf, daha az refrakter parçalanması ve bozulma
- Konvertör ömründe artış
- Sadece üstten ve alttan üfleme proseslerine göre fiyat avantajı
- Ayrı bir ara üfleme borusunu da içeren cazip işlem ölçme sistemleri

Mevcut tesislerdeki imkanlara göre ve üretilen çelik cinslerine bağlı olarak değişen bir çok değişken vardır. Mevcut üstten oksijen üfleme (oxygen top blowing-BOF/LD) çelikhaneleri, özellikle ilave inert gaz karıştırma teçhizatı eklenerek, verimli bir şekilde yeni prosese çevrilebilir.

İkincil metalurji aşamasında bir sonraki işlemle bağlantılı olarak, birleşik oksijen üfleme prosesinin de yardımıyla çeşitli çelik cinsleri henüz başka bir yöntemle üretilmeyecek kadar iyi bir şekilde optimum özellikleri ve mükemmel fiyat etkinliği ile üretilir.

7.6. Siemens – Martin Fırınları (Open Hearth)

Bessemer metodunun keşfinden hemen sonra William Siemens fırın sıcaklığını arttıran *rejeneratif sistemi* bulmuş ve 1860-1870 yılları arasında bu sistemi çelik fırınlarına uygulamıştır. *Rejeneratif sistemde*, gaz yakıt ve hava fırında birleşip yanmadan önce içi refrakter tuğlalarla örülü kamaralarda ısınmakta ve fırında yanan gazlar bacaya gitmeden önce fırının diğer tarafındaki kamaralardan geçerek bunları ısıtmaktadır.



Şekil 7.11. Siemens-Martin Fırını

(A) Gaz ve hava girişi, (B) Isıtma odası (sıcak kamara), (C) Erimiş sıvı metal, (D) Hazne, (E) Isıtma odası (soğuk kamara), (F) Gaz ve hava çıkışı

Siemens çelik yapmak için fırınında önceleri çelik hurdaları eritmiştir. Daha sonra pik demiri ve demir cevheri kullanarak çelik üretmiştir. Siemens'den hemen sonra, Pierre Martin adında bir Fransız pik demiri ve çelik hurdası kullanmak suretiyle Siemens metodunu değiştirmiştir. Modern uygulamada; çelik hurdası, pik demir ve demir cevheri kullanıldığından Siemens – Martin Çelik Üretim Metodu denilmektedir.

Bessemer-Thomas yönteminde, endüstriyel üretimin % 5'i veya daha fazlası fire olarak atılıyordu. Ayrıca, her yıl milyonlarca ton makine parçasının hurdaya çıkması da hurdaların kullanılmasını mecburi kılmıştır. 1864'te geliştirilen Siemens Martin yönteminde % 100'e kadar istenilen her oranda hurda kullanılabilir.

Çelik, sabit veya yana devrilebilir 100-300 tonluk fırınlarda ergitilir. Fırın, büyük bir yüzey ve küçük banyo derinliğine sahiptir. Gaz yakıtla ısıtılır. Önceden ısıtılmış gazın, yine önceden ısıtılmış hava ile yakılması sonucu oluşan bir alev gerekli ısıyı üretir ve 1700°C'a varan bir sıcaklık verir. Alev, hammaddeyi yalayarak ısıtır ve ergimiş çelik potaya akıtılır. Ön ısıtma, fırının hemen yanındaki kamaralarda sıcak baca gazları ile olur.

Bu fırınlarda yakıt olarak; kok gazı, doğal gaz, yüksek fırın gazı, pulverize kömür, fuel-oil ve katran kullanılabilir. Fırın, fuel-oil ve katran gibi gaz olmayan bir yakıtla ısıtılacağı zaman sadece hava ısıtılır (her iki tarafta havayı ısıtmak için birer kamara yeterlidir). Modern tesislerde daha ekonomik olduğu için kok fırını gazı yüksek fırın gazı ile karıştırılarak kullanıldığı için her iki tarafta birer ısıtma odası (kamara) gerekir. Kuvvetli parlayan alev, tavana zarar vermemesi için sıvı üzerine eğik olarak gelir. Şarj yapılan taraftan açılan kapıdan hurda, cevher ve ham demir yüklenir. Fırın önce üçte bir kapasite hurda malzeme ile doldurulur, kireçtaşı ilave edilerek 3 saat üstten ısıtılır. Bu şekilde oksitleyici aleve (kok gazı, katran) tabi tutulur, daha sonra sıvı pik demir içeri dökülerek fırın kapasitesine çıkarılır. Çelik için istenilen analize erişildikten sonra fırından alınır. Çeliğin cinsine ve bileşimine bağlı olarak sıcaklık 1600 °C civarındadır. Akıtma işlemi, diğer kenardan akıtma deliğinden potaya yapılır. Fırındaki bütün çelik potaya dolduktan sonra fırından akmaya devam eden curuf, potanın üst kısmında bulunan bir oluk vasıtasıyla curuf potasına aktarılır. Çelik içerisinden curuf ayrımı, potalardan çelik taşınılarak üste toplanan curufun başka bir potaya aktarılması ile sağlanır.

Bessemer ve Thomas yöntemlerine göre daha kaliteli çelik üretilir. Alaşımli çelik üretmek de mümkündür. Fakat alev sıvı metalle temas ettiği için alaşım elemanlarının yanma yoluyla azalması söz konusu olur. Bazik yöntemle üretimde hammadde olarak demir cevheri, hurda çelik ve kireçtaşı kullanılır. Cevherdeki yabancı maddeler kireçtaşıyla birleşerek bazik bir curuf oluşturur. Asidik yöntem daha az kullanılır ve silisli refrakterlerden ötürü asidik bir curuf meydana gelir. 250 ton kapasiteli tipik bir Siemens-Martin fırını; 15 m boyunda, 6 m genişliğinde ve 1 metre derinliğindedir. Her devre 8-10 saat sürer.

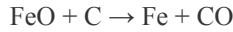
Fırın içerisindeki refrakter tuğlalara gelince, Bazik refrakterler genellikle dolomitten $[CaMg(CO_3)_2]$ yapılır, Asidik refrakterler SiO_2 'den hazırlanır.

Demir içerisinde fazla fosfor varsa, çeliği temizlemek için fosforun yakılması gerekir. Dolayısıyla Siemens Martin fırınlarında içinde fosfor ve sülfürü düşük olan pik kullanılır. Yani pik demir içinde fosfor ve sülfür fazla ise bazik karakterli refrakterler kullanılmalıdır. Bunların yanında karbon, silis ve manganda yanarak oksitlenir. Siemens-Martin ocaklarına % 100'e kadar hurda şarj edilebilir.

Reaksiyonların gerçekleşmesi için oksijenin bulunabileceği kaynaklar:

- Şarjın ısıtılması sırasında meydana gelen tufal, hurdaların üzerindeki pas,
- Kireçtaşının parçalanması ile oluşan CO_2 ,
- Fırına verilen havanın oksijeni
- Cüruftaki oksitleyici oksitler (FeO , MnO)
- Demir cevherleri, sinter, pelet

Üfleme periyodunda tekrardan karbon monoksit gazı teşekkül eder.



Karbonmonoksit gazı sıvı içerisinde yükselerek banyoda kaynamaya sebep olur. Bu sırada çözünmüş gazlar da yerlerinden sökülürler. Hareket halindeki hava, curuf tabakası ve çelik banyosunun temas ettiği yüzeyde oluşan reaksiyonları hızlandırır. Karbon miktarı yavaş yavaş azalır. Fosfor başlangıçtan itibaren sistemden alınır ve çelik içerisinde, Thomas çeliklerine göre daha düşük değerlere indirilir. Bu işlemler sırasında banyoda halen karbon mevcuttur. İstenilen karbon miktarına varıldığında alev kısılır ve banyoda mevcut olan demir oksitin uzaklaştırıldığı temizleme periyodu başlar. Alev artık yeni demir oksit üretmemelidir. Kükürdün uzaklaştırılması zor olduğundan, fırın şarjı ve yakıt içerisinde kükürt olmaması gerekir. Bir şarjın işleme süresi 8-10 saat arasındadır. Bu süre içerisinde sıvı dikkatle izlenir. Alaşımli çeliklerin ergitilmesi de mümkündür. Reaksiyonları hızlandırmak ve ilave edilen hurdaların çabuk ergimesini sağlamak için ayrıca günümüzdeki bazı modern fırınlarda oksijen ilavesi ile çalışılır. Eğer ocağın üzerinde O_2 gazı göndermek için bir sistem varsa fırın içerisine en son olarak yanmayı hızlandırmak için oksijen gazı gönderilir. Ancak meydana gelen yüksek sıcaklıklar fırın tuğlalarının daha kuvvetli aşınmasına sebep olur.

Yöntemin avantajları

- Çeşitli ergime usullerinin uygulanması mümkündür,
- Şarj edilen ham demir herhangi bir bileşimde olabilir,
- Büyük miktarlarda hurda şarj edilmesi imkân dâhilindedir,
- Çelik içerisinde daha az fosfor ve azot kalır.

Yöntemin dezavantajları

- Düşük miktarlarda ürün alınır,
- Tesis, yapılması ve işletilmesi bakımından pahalıdır,
- Çeliklerin ergitilmesi sırasında alev kıymetli alaşım elementlerinin yanmasına sebep olur.

7.7. Elektrik Ark Ocaklarında Çelik Üretimi

Günümüzde çelik üretiminde kullanılmakta olan iki farklı modern yöntemden biri entegre demir çelik tesislerinde BOF'larında ve diğeri yarı entegre demir çelik üretimi olan elektrik ark ocaklarında çelik üretimidir. Elektrik ark

ocağı demir çelik üretiminde bir alternatiftir. Elektrik ark ocakları özel kalite çeliklerin (alaşım) ve sade karbonlu (örneğin inşaat sanayiinde kullanılan yapısal ürünler) çeliklerin üretiminde kullanılmaktadır. Bazı oksijen fırınlarından farklı olarak, Elektrik ark ocaklarında sıvı pik metal yerine **hurda** kullanılır.

Çelik üretiminde Elektrik ark fırını kullanımını sağlayan faktörler:

- Elektrik enerjisi üretim ve temininin artması,
- Elektrot üretim ve kalitelerinin geliştirilmesi,
- Elektrik kontrol sistemlerindeki gelişmeler,
- Refrakter malzeme cinsi ve kalitesindeki gelişmeler
- Mekanik, hidrolik, elektronikteki gelişmeler olarak sıralanabilir.

Geleneksel elektrik ark fırınları Alternatif akımlı, direkt arklı, 3 elektrodlu, dairesel kesitli gövde ve kapaktan oluşur. Elektrodlar ile haznedeki metal arasında yüksek akım yoğunluğu ile ark meydana gelir ve yüksek sıcaklık elde edilir (ark bölgesinde 3200° C)

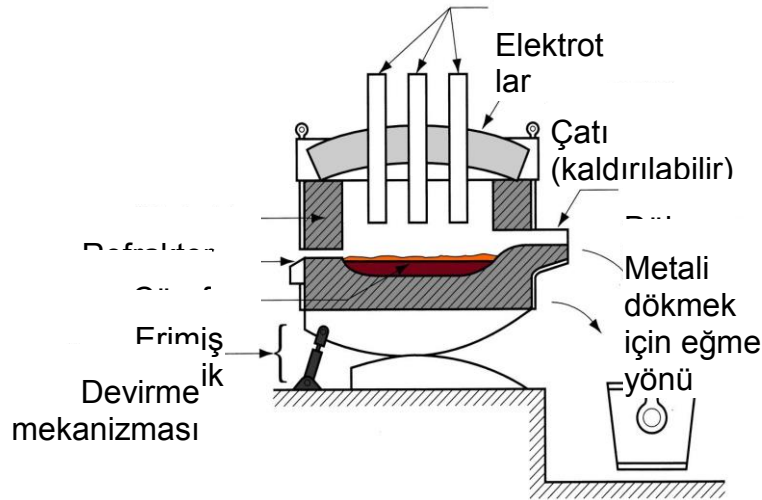
Ark Tipine Göre Sınıflandırma

A) Direkt Ark

- Endüstride en yaygın kullanılanlar seri ark ve üç fazlı olanlardır.
- Daha hızlı ertitme ve daha yüksek kapasitededirler.
- Elektrot sayısı 2-6 arasında olabilir.

B) Endirekt Ark

- Küçük boyutlu
- Şiddetli ısınma ve refrakter ömrü daha kısa
- Demir dışı metal ertitme ve bekletme amaçlı kullanılırlar.



Şekil 7.12. Elektrikli ark fırınının şematik görünümü

Elektrikle Isıtmanın Avantajları

- 1) Çok yüksek sıcaklıklara çıkılabilmesi,
- 2) Yüksek kaliteli çelik üretebilme,
- 3) İyi bir sıcaklık kontrolü yapılabilmesi (Gerekirse sabitleme),
- 4) İyi bir bileşim kontrolü,
- 5) Eritme süresinin kısa olması,
- 6) Yüksek alaşım çelik üretiminin yapılabilmesi,
- 7) İyi bir emürite giderebilme (P,S,),
- 8) Çalışma kolaylığı,



Şekil 7.13. Elektrik ark fırını çalışması

Hurda çelik elektrik ark ocağına üstten vinçle boşaltılır, ardından ocağın kapağı örtülür. Bu kapak ark ocağına indirilen üç tane elektrot için boşluk içerir. Bu kapak üzerinde bulunan sistemde fırın içerisine inip kalkabilen grafit elektrotlar bulunmaktadır.

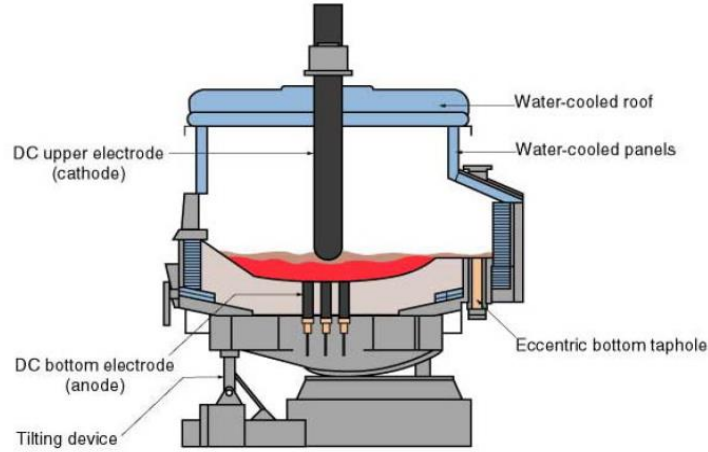
Kullanılan hurda dışındaki diğer hammaddeler, hurda şarjından sonra gerekli kademelerde ve belli oranlarda ilave edilirler. Ocağa gerekli ilaveler genellikle curuf kapısından yapılır. Elektrotlara verilen akım ile geçen elektrik bir ark oluşturur ve açığa çıkan ısı hurdayı eritir. Metal ergimiş durumdayken bazik oksijen fırınlarında olduğu gibi çeliği saflaştırmak için fırın içerisine oksijen üflenebilir.

Bu işlemde kullanılan elektrik miktarı 100.000 kişilik bir şehrin ihtiyacını karşılayacak miktarı aşabilmektedir. Bazik Oksijen Fırını (BOF)da oksijen metalin içine enjekte edilir ve orada çözünür. EAO'da, oksitleyici şartlar curuf fazıyla sağlanır. Oksitleyici bir curuf yapısı (yüksek oranda demir oksit içerir) ve oksijen metale curuf-metal ara yüzeyinden transfer olur.

Elektrik arkı kullanılarak yüksek sıcaklıklar elde edilir ve bu da metal katılaşması olmaksızın önemli miktarlarda alaşım elementleri ilavesini mümkün kılar. Kültür giderilmesi ise redükleyici şartlarda sağlanır. Ergitme işlemi esnasında elde edilecek çelikte gerekli kimyasal kompozisyonu sağlayacak şekilde diğer demir esaslı metaller (ferro-alaşım) ilave edilir. Ayrıca yapıdaki demir dışı atıkları bağlayarak curuf oluşturacak katkı maddeleri (flakslar) ilave edilir. Kimyasal kompozisyonun kontrolü için örnekler alındıktan sonra ark ocağı yana yatırılıp (18°) erimiş çeliğin üzerinde yüzen curuf dökülür. Hemen sonra ark ocağı diğer yana yatırılıp (45°) erimiş çelik bir potaya aktarılır. Buradan çelik ya pota metalurjisi işlemine tabii tutulur yada sürekli döküm ünitesine gönderilir. Bu gün modern elektrik ark ocaklarında her ergitmede 200 tonlara varan çelik üretilirken bu işlem için gerekli süre yaklaşık 40-55 dakika kadardır. Bu metot elektriğin ucuz ve bol olduğu ülkelerde daha fazla tercih edilen bir metottur. Ülkemizde elektrik pahalı olmasına rağmen, çelik üretimimizin %70'i ark ocaklarında gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7.14. Elektrik ark fırını



Şekil 7.15. Doğru akımlı elektrik ark fırını

7.7.1. Asidik veya Bazik Elektrik Ark Ocakları

Elektrik ark fırınları geleneksel astarlama pratiğine göre asit ve bazik olmak üzere ikiye ayrılabilir. Asidik elektrik ark fırınlarında asidik curuflla çalışarak tam ve kısmi oksidasyon yöntemleri ile çelik üretimi yapılabilir. Bu tip fırınlarda curuf tipi dolayısı ile fosfor ve kükürt gidermek mümkün olmadığından hammaddelerin seçilmiş olarak kullanılması zorunluluğu vardır. Bazik astarlanmış fırınlarda bazik curuflarla çalışıldığından, özellikle elektrik ark fırınlarında oksitleyici ve redükleyici çift curuf uygulaması rahatlıkla yapılabilir. Böylece P ve S giderilmesi mümkündür. Çift curuf yönteminde ergitme ve arıtma olarak iki kademe vardır.

Ergitme kademesinde şarjı kolayca ergitebilmek için şarja oksijen üflenir. Bu kademe yüksek güçle çalışılır. Ergitmenin tamamlanmasıyla güç düşürülür.

Arıtma kademesinde ise iki ayrı periyot vardır: oksidasyon ve redüksiyon periyotları. *Oksidasyon periyodunda* çelik banyosu içinde istenmeyen bazı elementler oksit halinde curufa geçirilerek banyo arıtılır. Bu arada silisyum, mangan, fosfor ve demir gibi bazı elementlerde kısmen oksidasyona uğrarlar ve banyodaki karbonda biraz azalır. Sıvı metal banyosu oluşur oluşmaz curuf çekilerek fosfor tasfiyesi yapılır. *Redüksiyon periyodunda* ise metal banyo sıcaklığı artırılır ve kükürt tasfiyesi yapılarak, gerekli ilavelerle (*yanmış kireç* (CaO)), çelik istenen bileşime getirilir. En iyi kükürt tasfiyesi ve curufun akışkanlığının maksimum olabilmesi için bu baziklik oranı (CaO/SiO_2) 2,5 olmalıdır. Bu nedenle bu periyotta bol miktarda kireç kullanılarak hem baziklik oranı arttırılır, hem de daha iyi kükürt tasfiyesi sağlanır. Böylece curufta kükürtlü bileşikler halinde toplanan kükürt, periyot sonunda curuf çekme işlemi ile banyodan uzaklaştırılır. Bu kademe sık sık sıcaklık ölçümü yapılır ve ocaktan numune alınarak bileşim kontrol altında tutulur. Eksik olan element ilave edilir, fazla olan elementlerin ise tasfiyesine çalışır.

Bazik astarlanmış ocaklarda; kapakta krom-magnezit veya silika tuğla (son yıllarda yüksek alüminalı tuğlada kullanılmaya başlanmıştır), tabanda ise yüksek kaliteli şamot tuğla ve magnezit tuğla döşenir, üstüne ise dolomitte astarlama yapılır. Curuf seviyesinin üzerinde ise krom-magnezit veya silika tuğla döşenir. Fırının iç kısmı refrakter tuğla ile örülmüştür. Ergimiş metale temas eden kısımlar toz refrakter malzemenin su ile karıştırılarak elde edilen çamurla, gerekli form sağlandıktan sonra pişirilmesi ile astar şeklinde sıvanır. Aşınma sadece refrakter astarda olur, belirli sayıda eritme işleminden sonra yenilenir.

Elektrik ark ocaklarında kullanılan hurda temel hammaddedir. Kirden, pastan ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Yanıcı ve patlayıcı malzeme bulundurmamalıdır. Kimyasal bileşimi üretilecek çeliğe uygun olmalıdır. Mümkünse hurda sınıflandırılmalıdır. Sistemde kullanılan Dönen hurda; kimyasal analizi çok iyi bilinen çelikhane, dökümhane, haddehane gibi birimlerden gelen yüksek kaliteli hurdalardır. Piyasa hurdası ise; çok az kükürt ve fosfor içeriği olan ve özellikle otomobil kaportalarından gelen hurdalardır.

Cu, Pb, Sn, Cd, Zn istenmeyen metallerdir. Bunlardan özellikle dikkat edilmesi gerekenler bakır ve kalaydır. Pb gaz fazına geçerken Cu ve Sn çelikte kalır. Cu tane sınırlarına yerleşerek çeliğe zarar verir. Pb'nin bir kısmı oksitlenebilir. Zn ve Cd buharlaşır. CaO ilavesiyle bu bileşiklerin çoğu curufa çekilir. S istenerek katılan çelikler vardır (otomat çelikleri). En çok S, plastik malzemeden gelir. Hurda demir dışı metallerden ne kadar iyi ayrılırsa

o kadar iyi çelik üretilir. Eğer üretilecek çelik alaşımlı çelik ise hurda bileşiminin üretilecek çelik cinsine benzemesine dikkat edilir.

Diğer hammaddeler ise; curuflaştırıcı olarak kireçtaşı ve fluşpat, Tamir malzemesi olarak Dolomit ve magnezit, Alaşımlama ve deoksidasyon için Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Cr, Al, Ca-Si vb. kullanılır. İlave malzemeler, karbon vermek için kok kömür tozu, ergitmeyi hızlandırmak için sıvı oksijen, ayrıca karbon tasfiyesi için demir cevheri (hematit) kullanılır.

Çeliğin bileşimi istenen sınırlara gelmiş ise sıvı çelik banyosundaki oksitleri almak ve oksijen seviyesini minimuma indirmek için banyoya, deoksidanlar ilave edilerek deoksidasyon yapılır. **Aluminyum** en ucuz ve bol olduğu için tercih edilir. Son olarak sıcaklık ve bileşim kontrolü yapıldıktan sonra güç düşürülür ve gerekirse bazı ilaveler yapıldıktan sonra, yeterli sıcaklığa ulaşılmışsa döküm alınır. Döküm alma sıcaklığı çelik kalitesine ve karbon miktarına bağlıdır. Genel kural olarak çeliğin ergime sıcaklığının 100°C üzerinde bir sıcaklıkta döküm alınır.

7.7.2. Bazık Proses

Bazık curufun esası kireç atılarak oluşturulan kalsiyum silikatlar ve silisyumun oksitlenmesiyle oluşan veya şarjdan gelen SiO₂'dir. % CaO/% SiO₂ oranı genellikle 2,5-4,5 arasındadır. Oksitleyici curuf %10-45 civarında FeO ile az miktarda MnO ve şarjdan gelen diğer oksitlenebilir elementleri içerir. Redükleyici elemanlar oksit curuf (1. curuf) alındıktan sonraki yeni curuf karışımına ilave edilir (çift curuf sistemi).

Bazık Oksitleyici Curuflar

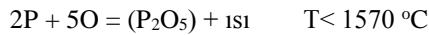
Ergime sırasında sıvı banyo içine oksijen enjekte edilmekte ve bu sırada silisyum, mangan gibi elementlerin yanında demirde oksitlenmektedir. Eğer bazık curuf içinde %FeO > %10 ise bu curufa oksitleyici curuf denilmektedir. Bu tür curufla çalışılan proseslerde ferro-alaşım ilave edilirse silisyum ve mangan gibi elementler önce curuf içindeki oksijen eğilimi daha zayıf olan FeO ile reaksiyona girmekte ve bunun sonucunda da sıvı banyo içinde çözünen Si ve Mn miktarı daha az olmaktadır. Bu curuflar alüminyum ve ferro alaşımları oksitlediği için oksitleyici curuf denilmektedir. Fosfor rafinasyonunda bazık oksitleyici curuf kullanılmaktadır.

Bazık İndirgeyici Curuflar

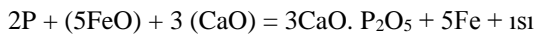
Bazık curuf içinde %FeO + %MnO < %5 ise bu tür curuflara indirgeyici curuf denilmektedir. Fosfor rafinasyonundan sonra EAF'dan curuf çekilmesi, ferro alaşım ve yeni kireç ilavesinden sonra oluşturulan curuf, bazık indirgeyici curufa iyi bir örnektir.

7.7.3. Fosfor ve Kükürt Rafinasyonu

Çelik içinde bulunan fosfor, çeliğin uzama, darbe mukavemeti gibi fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiler, soğuk çekilebilirliği azaltır. Bu nedenle istenmeyen bir elementtir ve çelik içindeki miktarı çeşitli çelik cinslerinde değişmekle birlikte %0,05 ile sınırlanmıştır. Bazı kaliteli çelik cinslerinde ise en fazla % 0,015 olmalıdır. Ancak hurda içinde daha fazla fosfor bulunmaktadır ve fosforun oksijen eğilimi demirden daha fazladır. Bu nedenle ergitme sırasında oksijen ile rafine edilir ve kireç ile de curufa bağlanır. Temel olarak fosfor rafinasyonu;

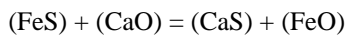


eşitliği ile sağlanır. Ancak curufa bağlanabilmesi için kirece ihtiyaç vardır ve gerçek rafinasyon reaksiyonu;

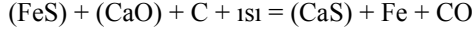


şeklinde dir. Curuf içinde bol miktarda FeO ve CaO bulunması reaksiyonu hızlandırmaktadır. *Fosfor rafinasyonu için gerekli şartlar özetlenecek olursa* Bazık curuf (CaO/SiO₂>2,5) gereklidir. Bunun için yeterli miktarda kireç veya kireçtaşı verilmelidir. Oksitleyici curuf (%FeO>15) gereklidir. Bu şart oksijen enjeksiyonu ile sağlanır ve banyo karbonu düşürülür.

Kükürt çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen ve darbe mukavemetini azaltan zararlı bir elementtir. Bu nedenle çelik içinde istenmemektedir ve miktarı sınırlanmıştır. Kükürt tasfiyesi aşağıdaki eşitlikle gerçekleşir:



Ancak sıvı banyo içinde FeO miktarının yüksekliği S giderimini yavaşlatacak veya durduracaktır. Bu nedenle banyodaki FeO'nun C, Al, Si, Ca gibi deoksidan maddelerle deokside edilmesi gerekmektedir. Belirtilen deoksidasyon ile birlikte S giderimi reaksiyonu şu şekildedir:



Elektrik ark ocaklarında genel olarak çelik üretim maliyetleri 140–200 \$/ton arasında değişirken, entegre demir çelik tesislerinde çelik üretim maliyeti (BOF) yaklaşık olarak 1000 \$/ton civarındadır. Elektrik ark ocaklarının verimli çalışması için en önemli parametre 1 ton şarj başına transformatörün görünür spesifik gücüdür ve bu değer 300 kVA/ton arasındadır. Bazı durumlarda bu değer 1000 kVA/ton değerine çıkabilmektedir

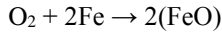
Elektrik ark ocaklarında iyileştirmeler;

- Fırın boyut ve kapasitelerinin büyütülmesi
- Trafo güçlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar
- Ergitme ve arıtma evrelerinde oksijen kullanılması
- Hurdanın seçilip atılması
- Hurdanın ön ısıtılması
- Fırın gazlarından yararlanabilme
- Refrakterler yerine su soğutma panelleri kullanılması
- Çok yüksek güçlü (UHP) ocakların kullanılması

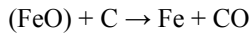
7.7.4. Curuf Köpürtme İşlemi

Elektrik ark fırınlarında fırının yan duvarları tam olarak ark radyasyonuna maruz kaldığı zaman, fırının termal (ısı) verimini arttırmak için curufu köpükleştirme işlemi yapılır. Köpüksü curuf elektrik arklarını kaplayacak ve fırın duvarlarında termal yük artması olmaksızın ürünlerin alınmasına izin verecektir. Ayrıca köpüksü curufu kaplanan bir elektrik arkı, enerjinin çelik fazına daha yüksek verimlilikle transferine sahip olacaktır.

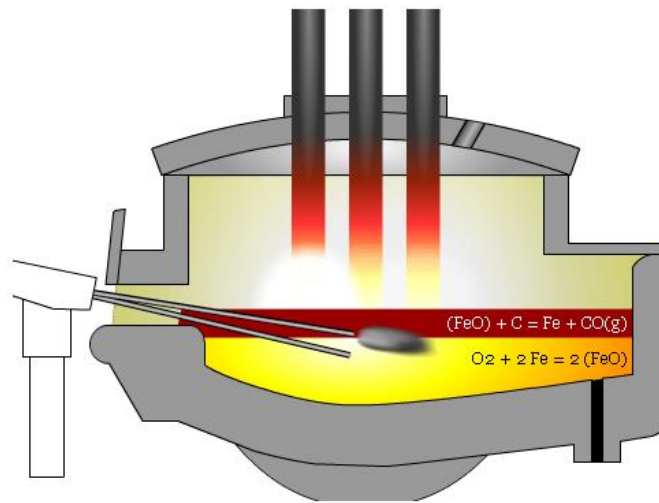
Köpüksü curuf, esas olarak demirin oksitlendiği sıvı çeliğe oksijen enjekte edilerek elde edilmektedir.



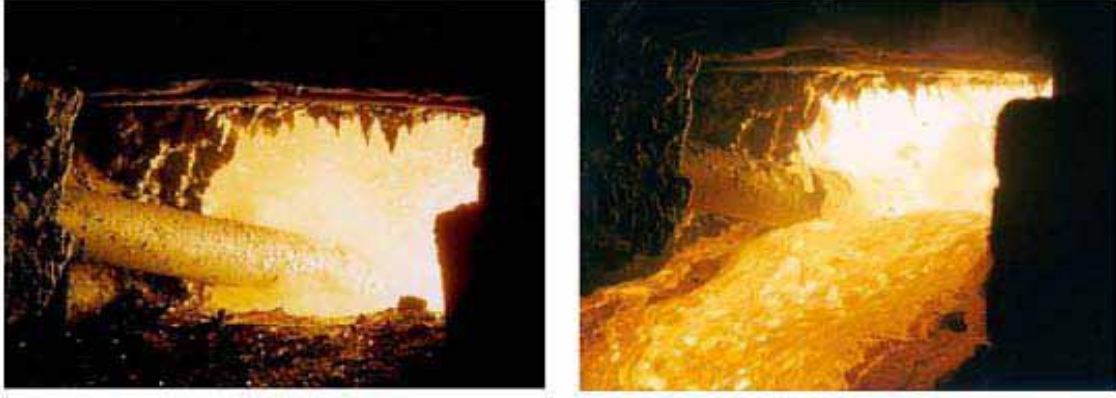
İlave olarak curuf fazına karbon tozu ilave edilir ve aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.



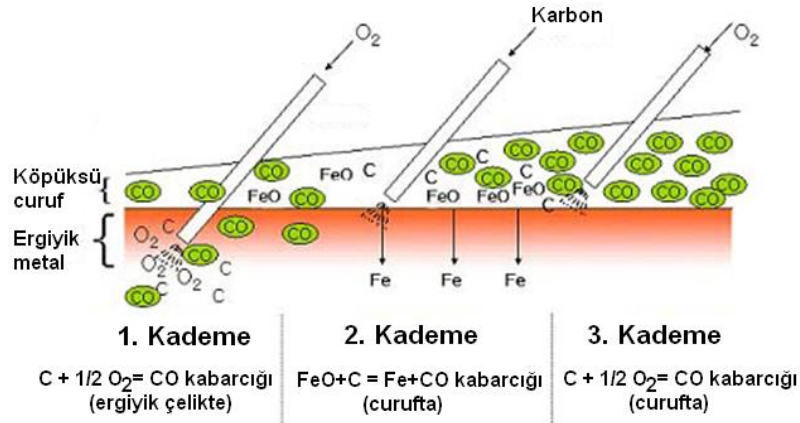
Ortaya çıkan CO gazı, köpüksü curufu elde etmek için önemli bir bileşendir.



Şekil 7.16. Köpüksü curuf oluşturma işlemi



Şekil 7.17 Kömür tozu ilavesiyle köpüksü curuf oluşumu



Şekil 7.18. Köpüksü curuf oluşum mekanizması

Curufu köpürtmenin faydaları;

- Yan duvarlar boyunca ısı kaybını azaltır,
- Arktan metale ısı transferini artırır ve daha hızlı ısı girişine imkan tanır,
- Güç ve voltaj akışını azaltır,
- Elektriksel ve duyulabilir gürültüyü azaltır,
- %100'e kadar ark boyunu ısı kayıp olmaksızın artırabilir,
- Elektrot ve refrakter aşınmasını azaltır.
- Daha uzun süreli ark işlemine imkan tanır, elektrik enerjisini artırmaya yardımcı olur.

7.8. İndüksiyon Ocakları

Son yıllarda dünyada indüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknolojisi oldukça yaygın bir hale gelmektedir. İndüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknoloji sistemiyle çelik üretimi ilk önce Hindistan'da başlamıştır. Hindistan çelik üretiminin %30'u indüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknolojisiyle yapılmaktadır. İndüksiyon ocaklarında, metal içinde manyetik alan oluşturmak için bir bobinden geçen alternatif akım kullanılır. İndüklenen akım, hızlı ısıtma ve eritme sağlar. Elektromanyetik kuvvet alanı, ayrıca sıvı metalde karıştırma etkisi oluşturur.

Endüksiyon Fırını Çeşitleri

A) Çekirdeksiz Tip Endüksiyon Fırınları (Nüvesiz)

- Ergitme,
- Aşırı Isıtma
- Alaşımlama

B) Çekirdekli Tip Endüksiyon Fırınları (Nüveli)

- Aşırı Isıtma

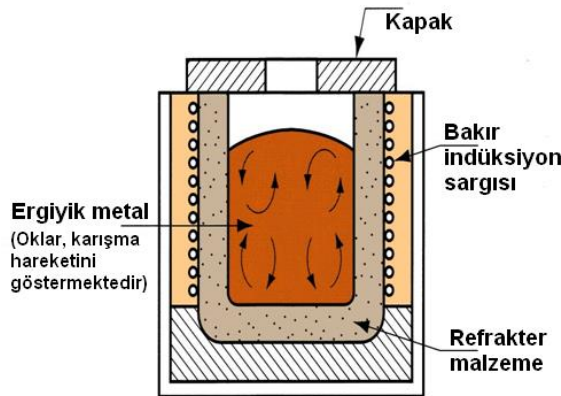
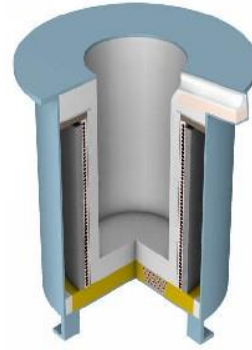
- Bekletme
- Demirdışı Metal Ergitme

Frekansına göre Çekirdeksiz Endüksiyon Fırınları

- A) Hat (Şebeke) Frekanslı Fırınlar 50-150 Hz
- B) Düşük ve Orta Frekanslı Fırınlar 150-500 Hz
- C) Yüksek Frekanslı Fırınlar 500-10000 Hz
- D) Değişken Frekanslı Fırınlar (V.I.P) Tristörlü (SCR) 200, 500, 1000, ve 3000 Hz ile 60- 3000kw güç

Endüksiyon Fırınlarının Bölümleri

- Gövde ve Bobin
- Manyetik Boyunduruklar (Şöntler)
- Hidrolik Sistem (devirme)
- Refrakter Astar
- Trafo (Güç) Ünitesi
- Soğutma Sistemi (Primer ve sekonder su)



Şekil 7.19. İndüksiyon fırını

Metal, ısıtıcı elemanlarla temas halinde olmadığından, yüksek kalitede ve saflıkta erimiş metaller üretmek için ortam iyi bir şekilde kontrol edilebilir. Çelik ve dökme demir alaşımları, döküm işlerindeki yaygın uygulamalardır.

İndüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknolojisinin diğer çelik üretim teknolojileriyle karşılaştırması yapıldığında neden tercih sebebi olduğunun açıklaması aşağıda verilmiştir:

1) Diğer çelik tesisleriyle karşılaştırıldığında, yatırım maliyetleri çok düşüktür.

İndüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknolojisi yatırımı, ark ocaklı tesislerinin yatırımının yarısı oranındadır. Bir başka deyişle bir ton çelik üretimi için yatırım maliyetlerinin mukayesesindeki oran yarı yarıyadır.

2) Yatırım süreleri diğer çelik üretim tesislerinin yatırım sürelerinden daha kısadır.

Buradan hareketle yatırım maliyetlerinin düşük oluşu, hem de kuruluş sürelerindeki düşüklük nedeniyle yapılan yatırımın geri dönüşü çok hızlı olmakta, en kârlı yatırım en kısa sürede olmaktadır felsefesiyle büyük kârlar sağlanmaktadır.

3) Enerjiyi en verimli kullanan tesislerdir.

Ark ocaklarında kullanılan toplam enerjinin % 65'i hurdanın eritilmesinde kullanılırken, indüksiyon ocaklarında ise bu oran %80'dir.

4) O₂ Kullanımı

a) Ark ocaklarında verimli üretim yapabilmek için kullanılması gerekmektedir ve O₂ fabrikasına ihtiyaç vardır. İndüksiyon ocaklarında O₂ kullanılmadığı için böyle bir yatırıma ihtiyaç yoktur.

b) Ark ocaklarında O₂ kullanımı sonucu oluşan oksitlerin kireçle reaksiyona girerek curuf oluşumu sağlanır. Ark ocaklarında 40- 50 kg/ton çelik için kireç kullanılır.

5) İndüksiyon ocaklarıyla çelik üretim teknolojisinin çevreye pozitif etkileri vardır.

a) İndüksiyon ocaklarında O₂ kullanılmaması sonucu yanma olmayacağı için gaz ve toz oluşumu olmayacaktır. Kurulacak olan küçük kapasiteli bir filtre sistemiyle yok denecek kadar az olan toz ve gaz oluşumunun çevreye olan olumsuz etkileri sıfırlanacaktır.

b) İndüksiyon ocaklarındaki çelik üretiminde curuf miktarının çok düşük oluşu çevreye katı atık miktarının çok az olmasını sağlayacaktır.

c) Diğer çelik üretimi teknolojilerinde elektrik akımının oluşturduğu gürültü çok yüksektir (yaklaşık 100 Desibel). Ancak indüksiyon ocaklarında ocağa en yakın noktadaki gürültü şiddeti 50–60 desibel civarındadır. Bunun sonucu olarak indüksiyon ocaklarıyla çelik üretiminde gürültü kirliliği diğer çelik üretim sistemlerinde göre yarı yarıyadır.

6) İndüksiyon ocaklarıyla çelik üreten tesisler, işletme maliyetlerinde ark ocaklı tesislere göre % 10 daha ucuzdur.

Sırf işletme maliyetlerindeki bu ucuzluk, tesisin yatırımında sarf edilen paranın 24 ayda geri kazanımını sağlamaktadır. Burada dezavantaj, ark ocaklarında verimli bir şekilde yapılan fosfor ve kükürt giderme operasyonu indüksiyon ocaklarında yapılamamaktadır.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

H.Koçak, Çelik Rehberi, Sağlam Metal, Mayıs 2012.
Demir-Çelik ders notları, U.Şen/Ş.Yılmaz, 2012.
<http://www.skamol.com/torpedo+cars.167.aspx>
<http://ietd.iipnetwork.org/content/basic-oxygen-furnace>
<http://www.steel.org>
http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=steel_making_introduction
<http://www.mepc.com.cn/uploads/newplant-20120514/Steel%20Making%E2%80%95Basic%20Oxygen%20Furnace2.jpg>
<http://www.steelplantech.co.jp/english/products/steelmaking/bof/>
<http://www.apec-co.com/tabid/275/Default.aspx>

8.1. Giriş

Çelik üretimi ile döküm arasında yer alan kritik bir aşamadır ve ayrı bir istasyonda uygulanan son çelik yapım işlemlerini kapsar. Fırında yapılan normal alaşımlama veya döküm alma sırasında potada yapılan alaşımlama işlemleri pota metalurjisi kapsamında sayılmaz. Bu tanım evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım olmayıp, birçok yerlerde tandişte yapılan işlemler, kalıp içinde elektromanyetik karıştırma vb. işlemler de pota metalurjisi içinde sayılmaktadır. Arzu edilen çelikteki kimyasal kompozisyonu sağlamak ve müşteri taleplerini karşılamak üzere çelikteki bazı elementlerin giderilmesi bazılarının ise ortama ilave edilmesi gerekmektedir. Tarihsel açıdan bakıldığında 1933 de bulunan **Perrin Yöntemi** modern pota metalurjisinin başlangıcı olarak kabul edilir. Bu yöntemde sıvı çeliğin sentetik bir curufla işleme girmesi söz konusudur.

Vakum altında gaz giderme (VD) 1950-1960 arasında geliştirilen ikinci pota metalurjisi yöntemi olmuştur. Burada amaç, büyük dövme kalitesindeki ingotlarda çatlakları önlemek için çelik içindeki hidrojen miktarının düşürülmesiydi. Daha sonraları azot ve oksijen yüzdelерinin düşürülmesi de amaçlandı. Bunun ardında potada geçirgen tuğlalar veya tüyerlerden faydalanarak Argon ile yıkama yöntemi (IGP : İnert Gas Purging-Asal gaz yıkaması) geliştirildi. Burada temel amaç; karıştırma ve sıcaklık ile bileşimin homojenleştirilmesiydi. Metalik olmayan taneciklerin daha hızlı yüzdürülmesi ek bir avantaj sağlıyordu. IPG den sonra, paslanmaz çeliklere vakum altında veya argon gazı ile birlikte oksijen verilerek karbon yüzdelерinin çok düşük düzeylere indirilmesi işlemlerinin yapıldığı VOD : Vacuum Oxygen Decarburization ve AOD:Argon-Oxygen Decarburization yöntemleri uygulanmaya başlamıştır. Ancak günümüzdeki modern tesislerin her biri birkaç yöntemin birleştirilmesi ile geliştirildiğinden yöntemlerin birbirinden ayrılması bu kadar kolay değildir. Örnek olarak, bazı modern vakum gaz gidericilerinde oksijen ve toz enjeksiyonu donanımı da bulunmaktadır. Bu suretle bu gaz giderme ünitelerinde kükürt giderme ve karbonsuzlaştırma da yapılabilir.

Yüksek fırın piki içindeki kükürdün çok büyük bir bölümü çelikhaneye sevk edilmeden önce potada giderilmektedir. Aynı şekilde fosfor da, esas olarak BOF de veya sıcak metal (pik) pota işlemi ile uzaklaştırılmaktadır. Vakum Ark Rafinasyonu (VAR) ve Electroslag Remelting (ESR) gibi bazı sekonder işlemlerin de yapıldığı yeni yöntemler bulunmakla beraber, bu yöntemlerde katı şarj ile başlandığı ve ergitme yapıldığı için bu yöntemler pota metalurjisi ya da sekonder metalurji kapsamı içinde sayılmamaktadır. Yüksek kaliteli çelik üretiminde vakum altında rafinasyon işlemi, konverterden gelen sıvı çeliğin döküm işleminden önce ergiyikte çözünmüş gaz bileşenlerini uzaklaştırmak amacıyla yapılmaktadır. Ergimiş çelik içindeki gaz bileşenlerinin, sıvı çeliğin düşük basınçlı bir teçhizata dökülmesinden sonra uzaklaştırılması nedeniyle vakumda gaz giderme olarak isimlendirilmektedir.

Çelik üretiminde vakumda gaz giderme işleminin birkaç amacı vardır. Bunlar;

- hidrojeni gidermek
- oksijeni gidermek
- düşük karbon içerikli çelik (<%0.03) üretmek
- kimyasal kompozisyon aralıklarına yakın çelik üretmek
- özellikle sürekli döküm işlemi için dökme sıcaklığını kontrol etmek

8.2. Pota Metalurjisinde İşlem Türleri

Genel sınıflandırma aşağıda verilmiştir;

Potada vakumla gaz giderme

- Sirkülasyonla gaz giderme (RH)
- Oksijen lansı ve sirkülasyonla gaz giderme (RH-OB)
- Potada gaz giderme (VD, Tankta gaz giderme)
- Vakum oksijen dekarbürizasyonu (VOD)

Pota fırını (LF)

Aktif katkı enjeksiyonuyla potada desülfürizasyon

- Toz enjeksiyonu
- Tel enjeksiyonu

Potadan kalıba gaz giderme

8.2.1. Potada Vakumla Gaz Giderme

Vakumla potada gaz giderme metodu, aşağıdaki reaksiyona göre çelikte çözülmüş karbonun deoksidasyon reaksiyonundan istifade eder.



Bu reaksiyonda sıvı çelik içinde çözülmüş **[C]** ve **[O]** karbon monoksidi üretir. Ergimiş çelikteki vakum işlemi kısmi CO basıncını düşürür. Sıvı çelikte CO kabarcıkları oluşur, bunlar yüzeye doğru hareket eder ve vakum sistemiyle uzaklaştırılır.

Deoksidasyona (karbon giderilmesine) ilave olarak vakum işlemi sıvı çelikte çözülmüş hidrojenin de uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Hidrojen, CO kabarcıklarına difüze olur ve vakum pompasıyla bu gaz tahliye edilir. Sıvı çelikte CO kabarcıklarının sağladığı hareketle çelik içerisindeki metalik olmayan inklüzyonların da aglomere olması ve curuf tarafından tutulması sağlanır. CO kabarcıkları özellikle nitrürlü inklüzyonların ve azot gazının giderilmesini sağlar.

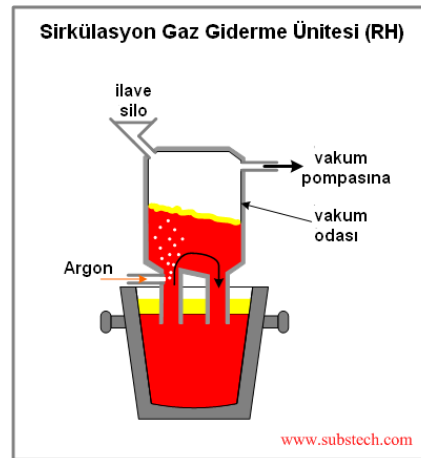
Vakumda rafine edilen çelikler homojen yapılarıyla, düşük metalik olmayan inklüzyon içerikleriyle ve düşük gaz poroziteleriyle (boşluklar) karakterize edilirler. Vakumda gaz giderme metodları, büyük çelik ingotların, rayların ve diğer yüksek kalitede çeliklerin üretiminde kullanılmaktadır.

Sirkülasyonla Gaz Giderme (RH)

Sirkülasyonla gaz giderme ünitesi, vakum odasının alt kısmına monte edilen iki adet şnorkele sahip bir vakum ünitesidir. Şnorkellerden birinde argon verilen bir boru bulunmaktadır. Vakum odasının şnorkelleri sıvı çelikte dolu olan potaya daldırılır. Sıvı metal atmosferik basınçla tespit edilmiş bir düzeye kadar (1.3 m) odaya dolar. Argon kabarcıkları şnorkellerden birinde yukarı doğru yüzerken şnorkeldeki ergiyeğin de yükselmesini sağlar. İkinci şnorkel içinden sıvı çelik sirküle olarak potaya geri gider. Sirkülasyonla gaz giderme vakum odaları ilave silolara da sahiptir. Buradan alaşımlama elementleri ilave edilebilir.

Sirkülasyonla gaz giderme işleminde gerçekleşen olaylar;

- Hidrojen giderme (gaz giderme)
- Oksijen giderme (deoksidasyon)
- Karbon giderme (dekarburizasyon)
- Kükürt giderme (desülfürizasyon)
- Alaşımlama
- Metalik olmayan inklüzyonları giderme
- Kimyasal homojenizasyon



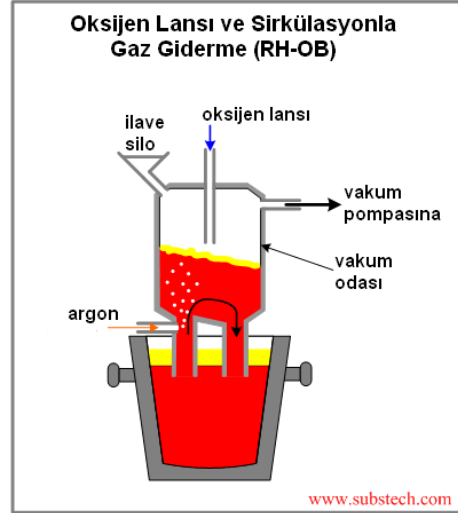
Şekil 8.1. Sirkülasyonla gaz giderme ünitesi

Oksijen Lansı ve Sirkülasyonla Gaz Giderme (RH-OB)

Bu metotta geleneksel sirkülasyonla gaz giderme ünitesine, sıvı çelik yüzeyine oksijen üfleyecek olan su soğutmalı bir lans eklenmiştir. Oksijen, hızlı ve etkin $[C] + [O] = \{CO\}$ dekarburizasyon reaksiyonunu sağlar, ayrıca fosforu da oksitler. Oksidasyon reaksiyonlarının ısıtma etkisi de vardır bu nedenle ilave bir enerji kaynağı olmaksızın işlem görecektir metal gerekli sıcaklığa ısıtılabilir.

Bu yöntemde gerçekleşen olaylar;

- Hidrojen giderme
- Hızlı karbon giderme
- Fosfor giderme (defosforizasyon)
- Kükürt giderme
- Isıtma
- Alaşımlama
- Metalik olmayan inklüzyonların giderilmesi
- Kimyasal homojenizasyon



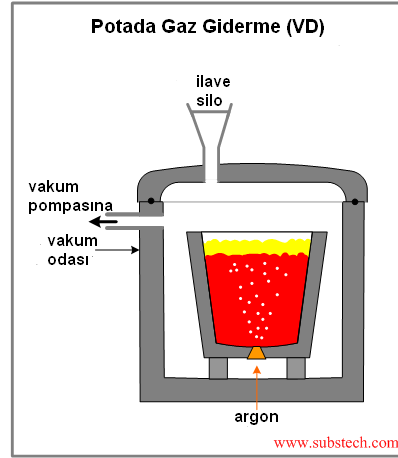
Şekil 8.2. Oksijen lansı ve sirkülasyonla gaz giderme ünitesi

Potada Gaz Giderme (VD, Tankta Gaz Giderme)

Tankta gaz giderme metodunda içinde sıvı çelik bulunan pota bir vakum odasına yerleştirilir. Potanın alt kısmında bir poroz ve refrakter özellikli tıkaç (tıpa) bulunmaktadır. Vakum işlemi esnasında tıkaç içerisinden argon gönderilir. Odanın üzerinde vakum kilitli ilave silo bulunmaktadır. Silodan alaşımla elementleri ve/veya curuf bileşenleri ilave edilir. Vakum koşulları altında çelikte başlayan $[C]+[O] = \{CO\}$ reaksiyonu karıştırma olayını sağlar. Ayrıca alttaki poroz tıkaçtan üflenen argon da bu işlemi görür. Ergiğin ve curufun yoğun karıştırılması çeliğin etkin desülfürizasyonunu sağlar. Argon ve CO kabarcıkları da nitrürlü inklüzyonların ve gaz halindeki azotun giderilmesini sağlar.

Potada gaz gidermede gerçekleşen olaylar,

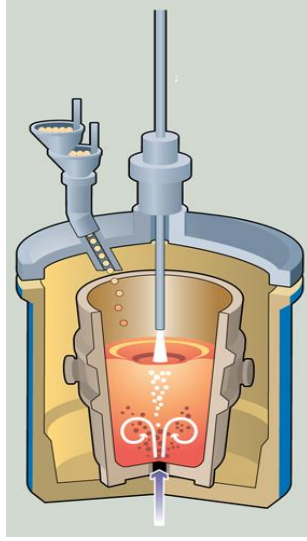
- Hidrojen giderme
- Oksijen giderme
- Kükürt giderme
- Karbon giderme
- Alaşımlama
- Metalik olmayan inklüzyonların giderilmesi
- Kimyasal homojenizasyon



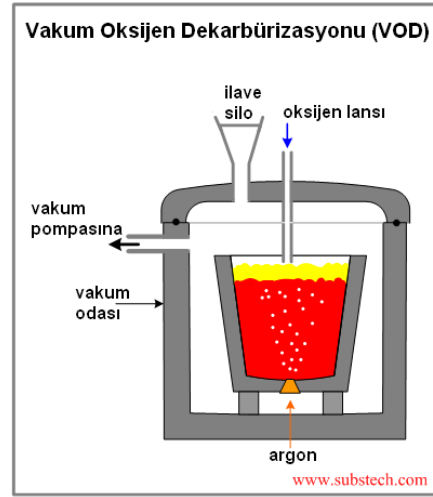
Şekil 8.3. Potada gaz giderme ünitesi

Vakum Oksijen Dekarbürizasyonu (VOD)

Bu metotta geleneksel potada gaz giderme odasına, ergimiş çelik yüzeyine oksijen üfleyecek su soğutmalı bir lans monte edilmiştir. Vakum oksijen dekarbürizasyonu (VOD) paslanmaz çelik üretiminde kullanılan bir metottur. Vakum altında sıvı çelikteki bileşenlerin oksidasyonu, normal basınç altındakinden farklıdır. Oksijen, paslanmaz çelikte temel bileşenlerden olan kromun oksidasyonundan daha ziyade $[C]+[O] = \{CO\}$ reaksiyonuyla harcanır. VOD prosesi, çok az krom kayıplarıyla çeliği dekarbürize etmeye müsaade eder. Oksidasyon reaksiyonlarının ayrıca ısıtma etkisi de vardır, bu nedenle ilave enerji kaynağı olmaksızın sıvı çelik istenen sıcaklığa ısıtılabilir. Dekarbürizasyon kademesinden sonra, sıvı çelikteki aşırı oksijeni gidermek için çeliğe deoksidize edici (oksijen giderici) maddeler ilave edilir. Daha sonra bir desülfürizasyon curufu sıvı çelik yüzeyine ilave edilir. Ergiyik ve curufun karıştırılması, aşağıdaki poroz tıkaçtan argon üflenerek sağlanır ve bu işlemle çeliğin desülfürizasyonu gerçekleşir.



Şekil 8.4. VOD ünitesi



Şekil 8.5. Vakum oksijen dekarburizasyon ünitesi

Vakum oksijen dekarburizasyonunda gerçekleşen olaylar;

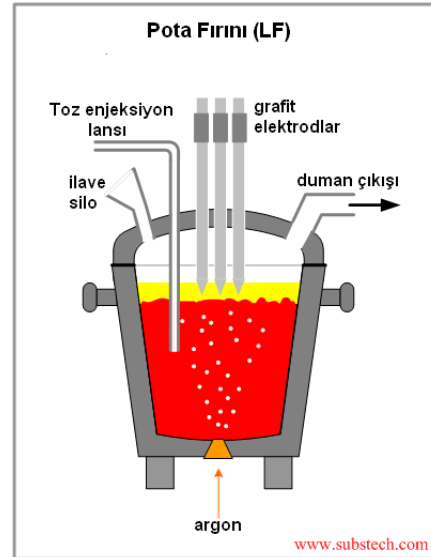
- Karbon giderimi
- Paslanmaz çeliğin işlenmesinde düşük krom kayıpları
- Kükürt giderme
- Hidrojen giderme
- Alaşımlama
- Isıtma
- Metalik olmayan inklüzyonların giderilmesi
- Kimyasal homojenizasyon

8.2.2. Pota Fırını

Ergimiş çelik Pota Fırını olarak bilinen ünite rafine edilebilir. Pota, üç fazlı ark sağlayan üç grafit elektrod bulunan bir kapağın bulunduğu Pota fırınına transfer edilir. Potanın altında, argon üfleme için poroz ve refrakter özellikli bir tıkaç bulunur. Ayrıca kapağın üst kısmında alaşımlama elementlerinin ilave edileceği bir silo ve kükürt giderici maddelerin enjekte edileceği bir lans bulunur. Operasyon esnasında oluşan duman, kapak kısmından dışarı alınmaktadır. Pota fırınında işlem gören ergimiş çelik, bir desülfürizasyon curufu ile kaplanır. Grafit elektrodlar curufa daldırılır ve bu sayede elektrik arkıyla oluşan aşırı ısıdan pota astarının korunması sağlanır. Alaşımlama elementleri ve/veya curuf bileşenleri sıvı çelik içerisine silodan ilave edilir. Yoğun desülfürizasyon gerektiği zaman enjeksiyon lansı ile kükürt giderici maddeler ilave edilir. Pota fırını, gaz giderme (hidrojen giderme gibi) işleminin gerekmediği çelik rafinasyonlarında geniş şekilde kullanılmaktadır.

Pota fırınında gerçekleşen olaylar;

- Kükürt giderimi
- Elektrikle kontrollü ısıtma
- Alaşımlama
- Metalik olmayan inklüzyonların giderilmesi
- Kimyasal homojenizasyon



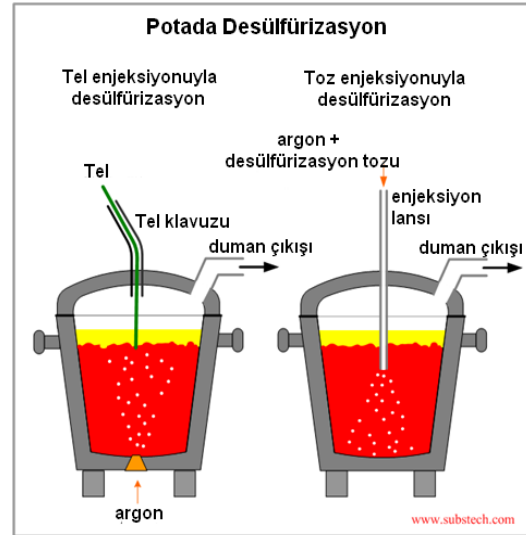
Şekil 8.6. Pota fırını ünitesi

8.2.3. Aktif Madde Enjeksiyonuyla Potada Desülfürizasyon

Ergimiş çeliğe desülfürizasyon (kükürt giderme) amaçlı kullanılan malzemelerin (Ca, Mg, CaSi, CaC₂, CaF₂+CaO) enjeksiyonu, en etkili kükürt giderme metodudur. Enjeksiyon metodu, toz halindeki desülfürizasyon maddesinin argon üflemeyle birlikte yapıldığı bir işlemdir. Deokside edilmiş (oksijeni giderilmiş) sıvı çelik bulunan pota, enjeksiyon standına transfer edilir, kapağı kapanır ve enjeksiyon lansı sıvı çeliğe daldırılır. İşlem gören çeliğin üzerinde desülfürizasyon curuf tabakası mevcuttur, bu curuf yüksek kükürt çözünürlüğüne sahiptir ve aktif katkı maddelerinin enjeksiyonunun sonucu olarak oluşan sülfürlü bileşikler absorbe eder. Desülfürizasyon katkıları argonla birlikte gönderilir. Argon kabarcıkları ergimiş çeliği ve curufu karıştırır. Karıştırma işlemi aynı zamanda ergiyeğin termal ve kimyasal homojenizasyonunu da sağlar.

Desülfürizasyon katkısı, bu maddenin tel halinde ergimiş çeliğe enjekte edilmesi durumunda argon gazı pota altında bulunan poroz tıkaçtan verilir. Operasyon esnasında oluşan duman, kapak kısmından dışarıya alınır. Desülfürizasyon katkılarının enjeksiyonuyla çelikte çok düşük kükürt konsantrasyonu (%0.0002) sağlanmaktadır. Aktif madde enjeksiyonuyla potada desülfürizasyon işleminde gerçekleşen olaylar;

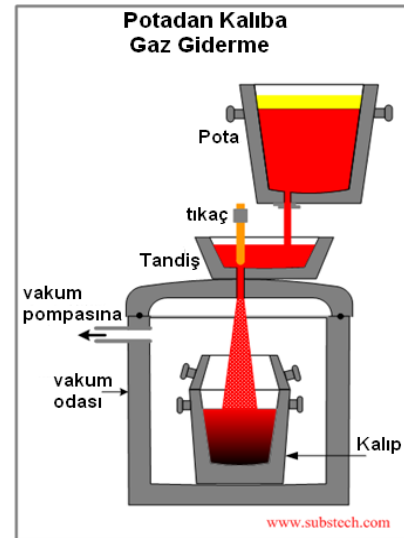
- Etkin kükürt giderimi
- Metalik olmayan inklüzyonların giderimi
- Kimyasal homojenizasyon



Şekil 8.7. Potada desülfürizasyon ünitesi

8.2.4. Potadan Kalıba Gaz Giderme

Potadan kalıba gaz giderme işlemi, kalıbın vakum odasına yerleştirildiği bir vakumda gaz giderme metodudur. Ergimiş çelik, odanın üst kısmına yerleştirilmiş bir tandişe dökülür. Tandiş, sürekli olarak potadan dökülen ergiyle doludur. Deoksidasyon reaksiyonu “[C]+[O]={CO}” nedeniyle vakumdaki kalıp boşluğuna düşen (akan) çelik kaynamaya başlar. Çelikte çözünmüş hidrojen CO kabarcıklarına difüze olur ve daha sonra gaz vakum pompasıyla tahliye edilir.



Şekil 8.8. Potadan kalıba gaz giderme ünitesi

Kullanılan Kaynaklar

Demir Çelik Üretimi Ders Notları, U.Şen, Ş.Yılmaz, 2012.

http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ladle_refining

http://www.ssab.com/Global/SSAB/Brochures/en/Images_steelbok/Ladle_metallurgy.jpg

BÖLÜM 9

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

9.1. Sünger Demir

Sünger demir; toz, pelet ya da parça halindeki demir cevherlerinin gaz veya katı redükleyici kullanılarak ergime sıcaklığının altında (950 – 1100°C) redüklenmesi sonucu elde edilen üründür. Elde edilen bu ürün, yüksek oranda metalik demir içermesinin yanında, indirgenmemiş demir oksitler ile bir miktar karbon ve cevherden gelen gang bileşenlerini içermektedir.

Sünger demirin genel özellikleri;

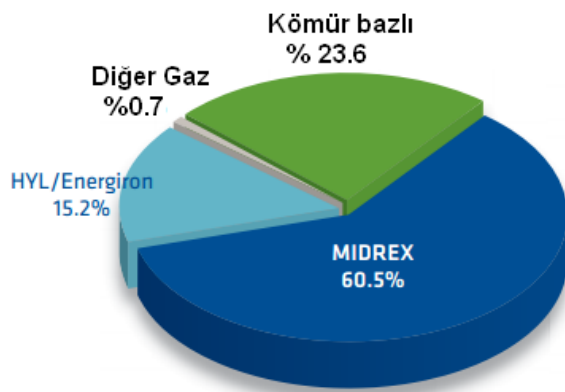
- 1) genellikle toplam demir içeriği %85'in üzerindedir
- 2) metalizasyon derecesi %90-95 arasında değişir.
- 3) karbon içeriği %1-2,5 arasındadır
- 4) gang içeriği %2-4 arasındadır
- 5) kükürt oranı, kükürtsüz gazla çalışan proseslerde %0.005 den küçük, kükürt içeren kömür ve kireçtaşı kullanan proseslerde yaklaşık %0.02 dir
- 6) görünür yoğunluğu <4 g/cm³ kadardır
- 7) HBI, (sıcak briketlenmiş demir) pelet ve parça sünger demirin yüksek basınç altında 650°C den yüksek sıcaklıklarda sıkıştırılmasıyla üretilir
- 8) HBI, pelet formundaki DRI'dan (direkt redüklenmiş demir) %75 daha az su çeker
- 9) sünger demirde -5 mm boyutundaki ince toz oranı %5 den az olmalıdır



Şekil 9.1. DRI (direkt redüklenmiş demir)



Şekil 9.2. HBI (sıcak briketlenmiş demir)



Toplam Dünya Üretimi: 73.3 Mt

	2009	2010	2011
MIDREX	59.9%	59.7%	60.5%
HYL/Energiron	12.4%	14.1%	15.2%
Diğer Gaz	0.8%	0.5%	0.7%
Kömür bazlı	26.9%	25.7%	23.6%

Şekil 9.3. Farklı proseslerin sünger demir üretimindeki payları

Sünger demirin genel olarak üstünlükleri;

- a) hurda dışında, metalleşmiş demir malzeme (DRI) geniş ölçüde temin edilebilir, kalite ve fiyat dalgalanmalarına maruz kalmaz

b) hurda ve sünger demirin karışımı veya tamamen sünger demir kullanımıyla daha yüksek ergitme hızlarına ulaşılması sonucu işletme verimliliği artar ve sonuç ürün daha iyi kontrol edilir

c) üniform fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir, ısı ve kimyasal şarjların güvenilir tahminine ve bu da ergitme periyodu sırasında C, S ve P kontrolüne imkan sağlar, rafinasyon periyodu kısalmır

d) ürün alma süreleri kısalmır, verimlilik artar ve çeliğin maliyetini düşürür

e) sünger demirin saflığı, çok düşük seviyelerde kirleticilerin (empürite) bulunması nedeniyle yüksek kaliteli çeliğin üretimine imkan sağlar

f) hurda ile karıştırılarak kullanıldığında ticari olarak kaliteli çeliklerin en ekonomik şekilde üretilmesinde düşük kaliteli hurdaların da kullanılmasını sağlar

g) sünger demirin aşırı dalgalanmayan birim fiyatı ve sürekli şarjı, elektrik ark fırınlarının verimliliğini arttırarak çelik yapım maliyetini büyük oranda düşürür.

Sünger demir üretim yöntemlerini iki farklı şekilde gruplandırmak mümkündür. Bunlar;

1) temel fırın prosesine göre

2) kullanılan redükleyici elemana göre

Tablo 9.1. Sünger demir üretim yöntemleri

Tesis	Redükleyici eleman		Demir oksit
	Katı	Gaz	
Şaft Fırını		Midrex HyL III Purofer	Parça cevher ya da pelet
Sabit Yatak		HyL I	Parça cevher/pelet
Döner Fırın	Krupp-Codir SL/RN DRC TDR JINDAL SIIL Accar/OSIL		Parça cevher ya da pelet
Akışkan Yatak		Fior Finmet Circored	İnce cevher
Döner Hazneli Fırın	Circofer Fastmet Kinglor-Metor ITmk3 Inmetco		Toz cevher ya da konsantre

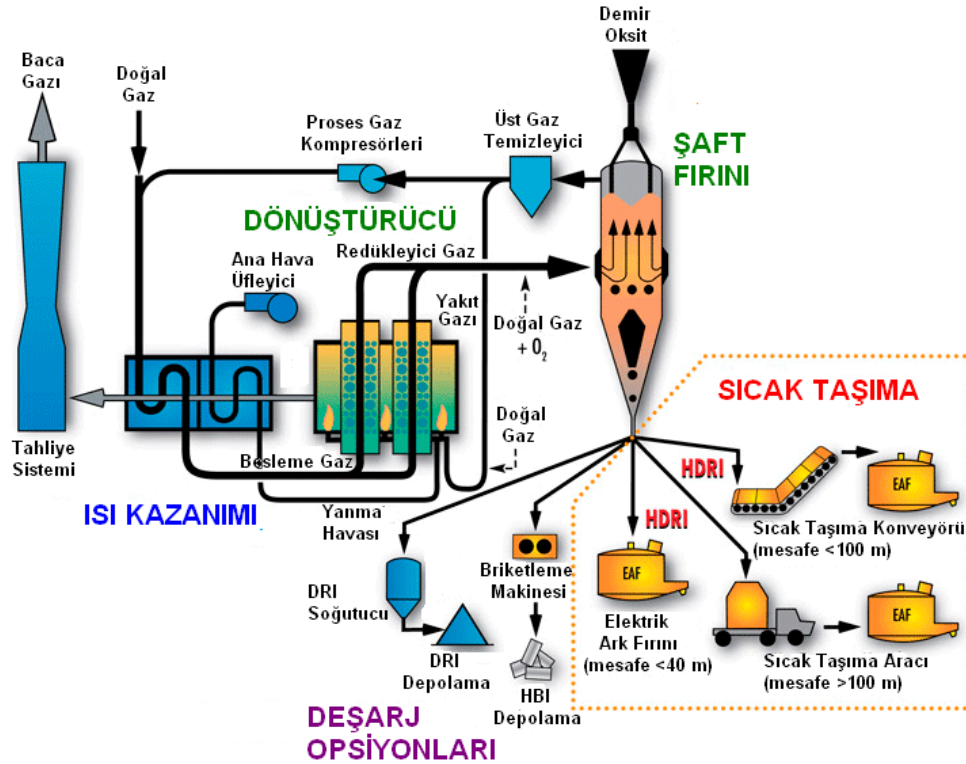
9.2. Şaft Fırını Prosesleri

9.2.1. Midrex Prosesi

Midrex prosesi, Kobe Steel tarafından geliştirilmiş, şaft reaktörü kullanılan bir direkt redükleme prosesidir. Midrex fırınlarına demir cevherinin şarjı, parça cevher veya pelet halinde ya da her ikisinin karışımı halinde yapılmaktadır. Katı hammadde tepe çanına beslenmekte, oradan dağıtım çanına beslenmekte ve çan sistemiyle fırın içerisine boşaltılmaktadır. Dinamik bir kilitleme kolu, redükleyici gazların fırın içerisinde kalmasını sağlamaktadır. Şaft fırını düşük basınçta (1 bar'ın altında) çalışmaktadır.

Şarj fırınının içerisindeki demir oksit önce ısıtılır, ardından da şaftın silindirik kısmının altında bulunan tüyerlerden üflenen ters akımlı redükleyici gaz ile redüklenir. Redükleyici gazlar, redükleme fırınından gelen gazlar ve doğal gazın karışımından elde edilir. Karışım dönüştürücüde kimyasal olarak H₂ ve CO içeren bir gaza dönüştürülür.

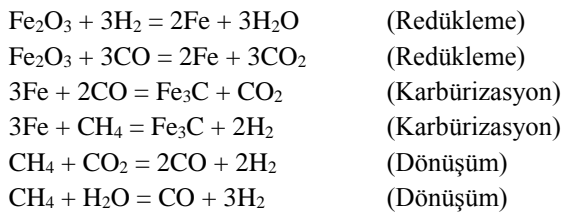
Dönüştürücüden çıkan gaz yaklaşık 850°C dir. H₂/CO oranı ise 1.5-1.8 arasına ayarlanmaktadır. %93-94 oranında metalizasyon ile (metalleşme) ürün elde edilir.



Şekil 9.4. Midrex prosesi akım şeması

Soğuk ürün elde ederken soğutma gazı üflenir ve düşük karbonlu (<1.5) ürün elde edilir. Yüksek karbonlu ürün (%4'e kadar) elde edilmek istenirse soğutma havasına bir miktar doğal gaz karıştırılabilir. Fırın bacasından ayrılan 400-450°C lik gaz soğutulur, gaz temizleyici sisteminden geçirilerek tozlardan arındırılır ve yaklaşık 2/3'ü geri kazanılarak proses gazı olarak tekrar kullanılır.

Midrex prosesinde gerçekleşen temel reaksiyonlar;



Tablo 9.2. Midrex yöntemiyle üretilen DRI ve HBI'nın özellikleri

	DRI	HBI
Toplam Fe	% 90-94	% 90-94
Metalik Fe	% 83-89	% 83-89
Metalizasyon	% 92-95	% 90-94
C	% 1-2.5	% 0.8-1.2
P	% 0.005-0.09	% 0.005-0.09
S	% 0.001-0.03	% 0.001-0.03
Gang	% 2.8-6	% 2.8-6
Ürün sıcaklığı	40°C	80°C

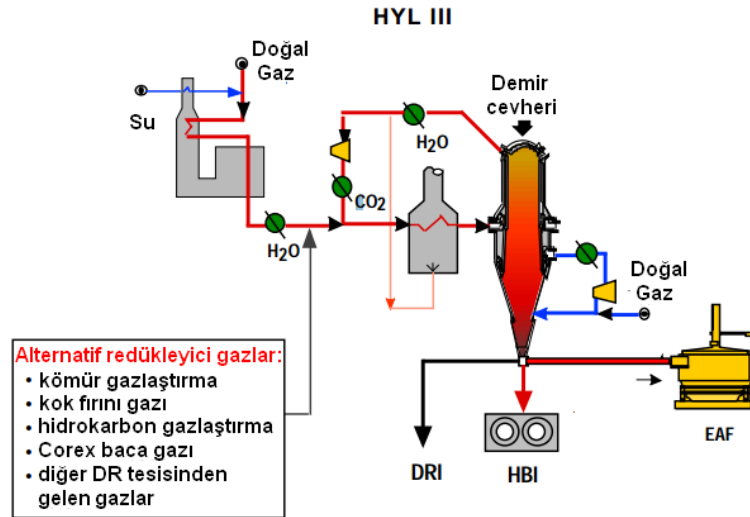
Midrex prosesinin avantajları,

- 1) Dünya çapında ticari kullanım,
- 2) kanıtlanmış performans
- 3) göreceli olarak kolay uygulama
- 4) CO₂ ile dönüştürme işlemi sayesinde buhar sistemi, dönüştürülmüş gazın soğutulması, redükleyici gazın ısıtılması ve CO₂ uzaklaştırılması gereksinimlerini ortadan kaldırır.

9.2.2. HYL III Prosesi

HYL III prosesi, demir cevherinin redükleyici gazlar olan H₂ ve CO ile direkt redüklenmesini içeren bir prostedir. Bu proses iki ana bölümü içermektedir ki bunlar redükleyici gaz üretim bölümü ve redükleme bölümü... Redükleyici gaz üretimi kısmında doğal gaz ve su buharından redükleyici gazlar olan H₂ ve CO üretimi yapılır. Bununla beraber alternatif redükleyici gaz kaynakları da bulunmaktadır. Bunlar arasında; kömürün gazlaştırılması işleminden gelen gazlar, kok fırını gazı, hidrokarbonların gazlaştırılmasından elde edilen gazlar, Corex baca gazları ve diğer DR (direkt redükleme) tesislerinden gelen ve kısmen harcanmış gazlar bulunmaktadır.

Bu prosteste parça cevher, pelet veya bu ikisinin karışımı şarj edilebilmektedir. Bu şarj konveyör yardımıyla fırının üst kısmından beslenir. Basınç kilitlerinden atmosferik basınçta şarj edilirken fırın içerisinden bu sayede basınç kaybı olmamaktadır. CO₂ uzaklaştırma sisteminden geri dönüştürülmüş gaz ve doğal gaz karıştırılarak 930°C ye kadar ısıtılarak 6 bar basınçta fırına beslenmektedir. Yüksek basınç şartları, şaft fırınında daha yüksek kapasitelere izin vermekte ve daha fazla miktarda redükleyici gazın demir okside temasını sağlamaktadır. Bu sayede fırın verimi de artmaktadır.



Şekil 9.5. HYL III prosesinin akım şeması

Fırından 400°C de çıkan gaz, gaz temizleme sisteminden geçirilerek soğutulur, ardından CO₂ ve opsiyonel olarak SO₂ uzaklaştırma sistemine gönderilir ve ürün şaft fırınının alt kısmından alınır. Gaz oluşturma sisteminde doğal gaz, dönüşüm reküperatöründen geçirilerek ısıtılır ve kükürt miktarı 1 ppm değerinin altına düşürülür. Ardından karbon oranı 2.4'e 1 olan ön ısıtılmış su buharıyla karıştırılır ve 620°C ye ısıtılır. Elde edilen bu gaz karışımı brülörlerle ısıtılan tüplerde 820°C ye ısıtılarak dönüşüm reaksiyonlarının oluşmasını sağlar. Sonra soğutma için atık ısı kazanlarında ısının bir bölümü kazanılır ve buhar hızlıca soğutulurak suyundan arındırılır. Elde edilen ürün gazı yaklaşık %72 H₂ ve %16 CO den oluşur.

Katı ürün şaft fırınında aşağıya doğru indikçe yükselen redükleyici proses gazı tarafından ısıtılır ve redüklenir. Prosteste ana redükleyici, miktarından dolayı H₂ dir. Ürün %95 metalizasyon (metalleşme) derecesine ulaşır ve karbon içeriği %1.5 – 4.5 arasında değişmektedir.

Tablo 9.3. HYL III yöntemiyle üretilen DRI ve HBI'nın özellikleri

	DRI	HBI
Toplam Fe	% 91-93	% 91-91
Metalik Fe	% 83-88	% 83-88
Metalizasyon	% 92-95	% 92-95
C	% 1.5-4.5	% 1.2-2.2
P	% 0.02-0.05	% 0.02-0.05
S	% 0.002-0.019	% 0.002-0.019
Gang	% 2.8-7.5	% 2.8-7.5
Ürün sıcaklığı	<50°C	<50°C

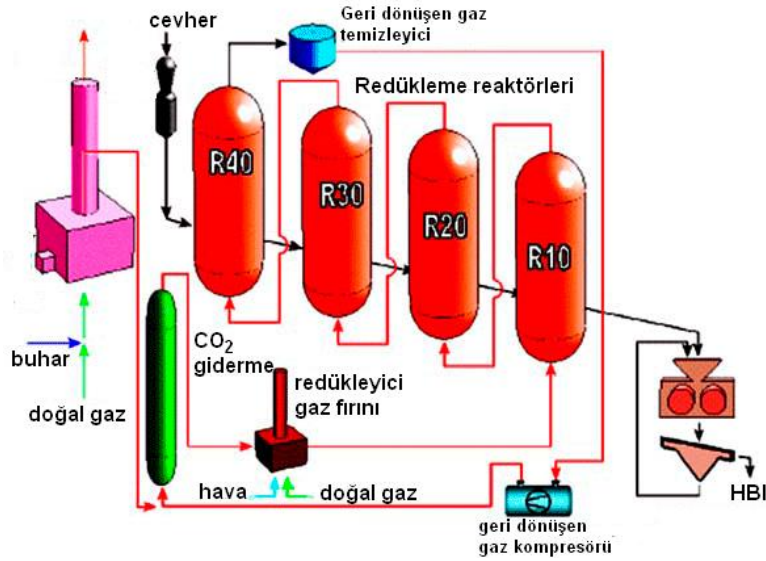
HYL III prosesinin en önemli avantajları;

- 1) kanıtlanmış performans
- 2) hammadde çeşitliliği
- 3) doğal gaz veya cevherdeki kükürde karşı hassas olmaması
- 4) dönüştürücü olmadığı için daha düşük kurulum maliyeti
- 5) yüksek enerji verimi (diğer DRI tesislerinde %70 iken burada %87)

9.3. Akışkan Yatak Prosesleri

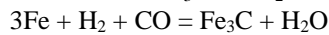
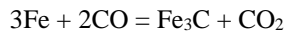
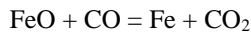
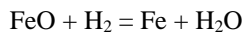
9.3.1. Finmet Prosesi

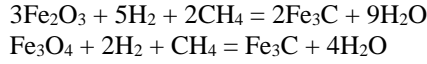
Finmet prosesinde birbiri peşisıra olan 4 reaktör kullanılır. Ters akım yöntemine sahiptir. Finmet yönteminde boyutu 12 mm'nin altında olan demir oksitler beslenir. Tozlar önce akışkan yataklı kurutucuda %2 neme sahip olana kadar, yaklaşık 100°C de kurutulur ve doldurma hunisi ile ilk reaktöre (R4 veya R40) depolanır.



Şekil 9.6. Finmet prosesinin akım şeması

Birinci reaktörde (R40) yaklaşık 550°C de oksit tozlarına ön ısıtma uygulanır. Sonra tozlar sıralar halindeki indirgeyici reaktörlerin içinden geçirilir. Burada oksit tozları ısıtılır ve redükleyici gaz tarafından redüklenir. Verimliliği arttırmak için reaktör sistemi yaklaşık 11-13 bar'lık yüksek basınçta çalıştırılır. İlk üç reaktörde dehidratasyon (su giderimi) ve hematitin manyetite dönüşümü gerçekleşir. R10 reaktöründe sıcaklık 780-800°C civarındadır ve final üründe yaklaşık %93 metalleşme gerçekleşmektedir. Metalleşme ve karbür oluşum reaksiyonları;





9.4. Döner Fırın Prosesleri

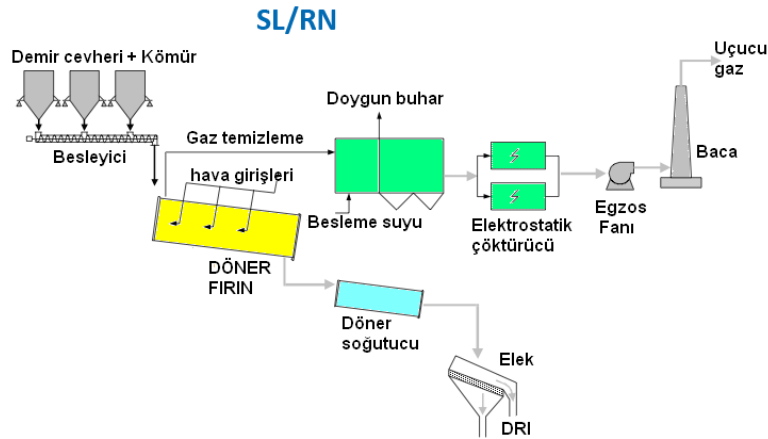
Döner fırın, içi refrakter astarlı yatay silindirik bir fırındır. Fırın, boşaltma ucuna doğru yatayla 3-4° lik açı yapar, yüksek olan uçtan yüklenen harman boşaltma ucuna doğru dönmeyi ve yoğunluğun etkisiyle hareket eder. Kömür, flaks ve demir oksit fırının besleme ucundan girer ve ısıtma bölgesinden geçerken kömür uçucularını kaybeder, flaks kalsine olur ve şarj redüksiyon sıcaklığına ısınır. Demir oksit redüksiyon bölgesinde CO ile redüklenir. Yüksek sıcaklıkta CO₂ in bir kısmı Boudouard reaksiyonuna göre karbonla reaksiyona girer. Proses ısısının bir kısmı fırının boşaltma ucundaki brülörlerden sağlanır. Fırındaki redükleyici atmosferi korumak için brülör havası çalıştırılır. İlave proses ısısı kömürdeki uçucuların ve yataktan çıkan CO'nun yanmasıyla sağlanır. Yakma havası fırın boyunca yerleştirilmiş portlardan verilir. Fırın gazları katı ile ters yönde hareket eder.

Döner fırın kullanan kömür esaslı ticari prosesler iki farklı başlık altında toplanabilir. Bunlar eksenel hava prosesi ve radyal hava prosesidir. Bu iki proses arasındaki fark, reaktöre giren havanın girişi sistemidir. Her iki proses de kendine özgü avantajlara sahiptir. Fırına beslenen demir oksit (parça cevher veya pelet) kimyasal kompozisyon, boyut dağılımı ve redükleyici şartlardaki davranışı açısından belirli özellikleri taşımalıdır. Demir içeriği yüksek olmalı, S ve P ise düşük olmalıdır. En az 5 mm boyutunda olmalıdır. Redükleyici şartlarda cevherin davranışı önemlidir, şişme ve sonradan ufalanma özellikle dikkate alınmalıdır.

Döner fırından boşaltılan katı ürünler soğutulur, elenir ve manyetik olarak ayrılır. Çok küçük boyuttaki DRI'lar briketlenir ve çelik yapımında kullanılır. Çıkan gazlar da yoğunluğuna göre ayırma işlemine tabi tutulur, atmosfere bırakılmadan önce soğutulur ve temizlenir.

9.4.1. SL/RN Prosesi

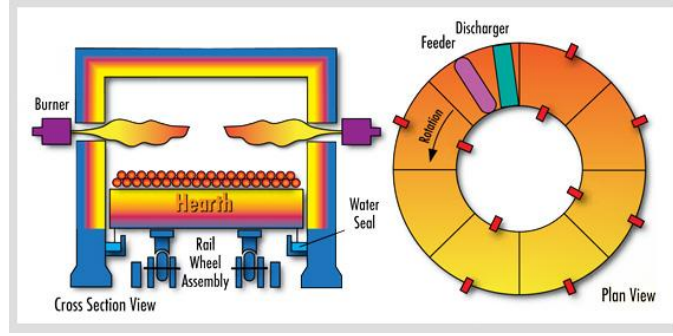
Stelco-Lurgi/Republic Steel (SL/RN) olarak bilinen proses, döner fırın kullanan kömür bazlı direkt redüklenmiş demir üretim proseslerinden biridir. Dünyada kömür kullanan teknolojiler içinde SL/RN prosesi en fazla üretim kapasitesine sahip olan prostestir. Proses parça cevher ve pelet kullanır. Sünger demirin sülfürizasyonunu önlemek için kireç, kireçtaşı ve dolomit gibi bazik maddeler flaks olarak kullanılır. Çok çeşitli yakıt kullanmak mümkündür. Kömür, kok, char (yanarak kömür haline gelmiş madde), linyit ve antrasit kullanılabilir.



Şekil 9.7. SL/RN prosesi akım şeması

SL/RN prosesinin belirgin özellikleri;

- proses enerjisi olarak %100 koklaşmayan kömürün kullanılabilmesi, petrol ya da gaz gerektirmemesi,
- geniş aralıkta kömür türlerinin kullanılabilmesi,
- yüksek metalizasyon derecesi ve şarj malzemelerinde en kısa ön ısıtma süresi sağlayan yatakalta hava enjeksiyonuyla yüksek çıktı miktarı,
- fırından çıkan malzemeyi sıcak olarak ergitme ünitesine besleme imkanı,



Şekil 9.10. Döner hazneli fırında besleme – redüksiyon – deşarj sistemi



Şekil 9.11. Döner hazneli DRI üretim tesisi

Fastmet prosesinin genel olarak avantajları;

- 1) Fastmet, endüstrileşmiş ülkeler dahil dünya çapında kurulu birçok demir yapım prosesi içinde en düşük maliyete sahip olanlardan biridir
- 2) üretim maliyetleri, dünyanın birçok bölgesinde rekabet fiyatlarıyla bulunabilen toz demir cevherleri, kömür, kok ya da odun kömürü kullanılarak en aza indirilmektedir.
- 3) hızlı redüksiyon, proses ayarlamasının çabuk ve çalıştırmasının kolay yapılmasına imkan sağlar. Bu işlem esnekliği operatörlere ürün kalitesini sıkı kontrol etme ve üretim planındaki değişiklikleri karşılama imkanı sağlar.
- 4) Fastmet, tek bir döner hazneli fırında 150.000 – 450.000 ton DRI'nın ekonomik üretimini sağlar. Proseste yatırım maliyeti düşüktür.
- 5) Fastmet tesisi, yerel ve ulusal çevre standartlarını karşılayacak şekilde dizayn edilebilir. Çıkan gaz, klasik temizleme sisteminde işlenir.

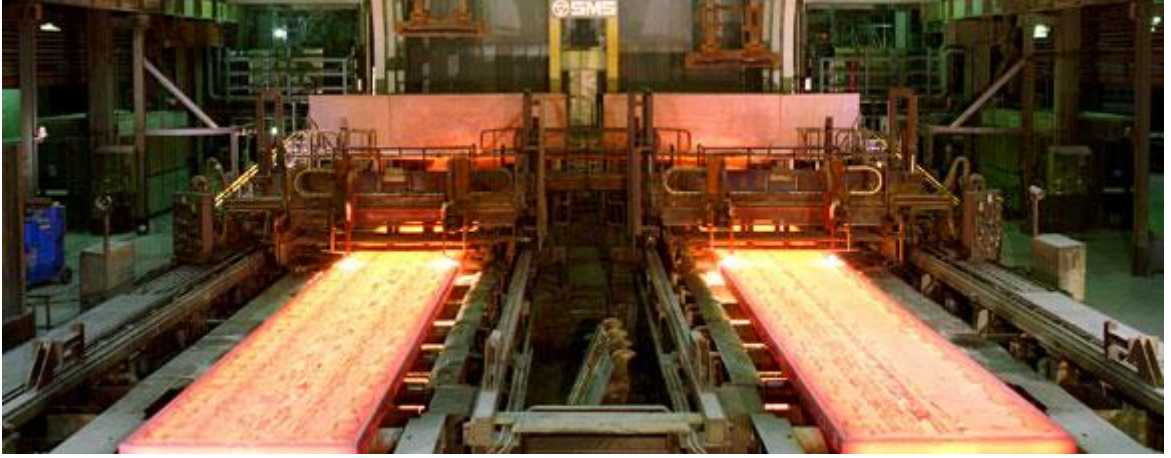
Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

Doç.Dr.M.N. Sarıdede, Alternatif Demir Çelik Üretim Yöntemleri, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniv., 2011.
<http://www.midrex.com/uploads/documents/MidrexStats2011-6.7.12.pdf>
<http://ietd.iipnetwork.org/content/midrex%C2%A9-process>
<http://www.kobelco.co.jp/p108/dri/e/dri05.htm>
<http://www.industrialcostanalysis.com/HYL%20III.pdf>
<http://ietd.iipnetwork.org/content/finmet>
<http://www.slideshare.net/komalvaish/finmet-process>
<http://ietd.iipnetwork.org/content/slrn-process>
http://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_29/085-092.pdf
http://www.midrex.com/handler.cfm/cat_id/179/section/global
http://www.corefurnace.com/heattreat_08.html

10.1. Giriş

Çelik işletmelerindeki ikincil metalurji işlemlerinden gelen sıvı metal belli şekil, ölçü ve ağırlıklara göre dökülür. Demir çelik fabrikalarının üretim ve malzeme akışı içerisinde döküm işlemi ikincil metalurji proseslerinin sonrasında ve birincil şekillendirme olarak adlandırılan sıcak haddelemenin ise öncesinde konumlandırılmıştır.

1970'lere kadar çelik, kokil kalıplarda ingot halinde dökülürdü. Bugün ise sıvı çelik, sonraki haddeleme aşamaları için genellikle sürekli döküm yöntemiyle üretilir. Sıvı metalin sürekli döküm fikri 100 yıl önce geliştirilmiştir. 1970'lerin sonlarında geniş ölçekli olarak tanındıktan sonra, Almanya'daki sürekli döküm yöntemiyle üretilen çeliğin miktarı %96 oranına kadar yükselmiştir. Dünya genelinde ise sürekli döküm yoluyla üretilen çeliğin oranı %90'a kadar yükselmiştir. Bu verilere göre, ingot dökümü büyük ölçüde önemini yitirmiştir. Ama bu yöntem, çok ağır parça dökümleri ve dövme olması gereken parçalarda yine kullanılmakta olan bir yöntemdir.



Şekil 10.1. İki hatlı sürekli yassı kütük dökümü

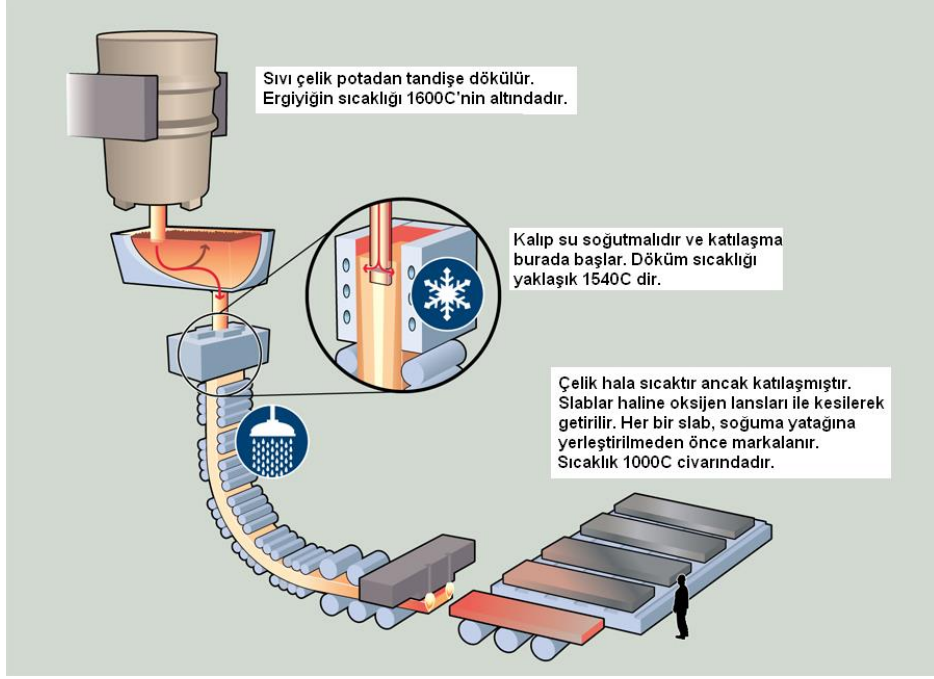
Sürekli döküm teknolojisinin gelişi, geleneksel ingot dökümünün yanı sıra, ingotu yassı kütük haline getirme ve aşağı akışlı haddehanelerdeki yarı mamul taşınması işine son vermiştir. Sıvı metalin ton başına hadde ürünü verimi, sürekli döküm teknolojisi ile sağlanan malzeme ve enerji tasarrufu ile birlikte %10 oranında artmıştır. Günümüzde çelik üretiminde verimlilik %95 seviyelerine çıkmıştır. Dahası, sürekli döküm havasız ortamda yapıldığı için, ingot dökme göre daha temiz ürün alınabilmektedir. Hızlı katılaşma ile az bir miktarda segregasyon oluşmasına rağmen homojen bir yapı sağlanmaktadır. Buna ek olarak, sürekli döküm, otomasyon için geniş bir imkan yelpazesi, gelişmiş bir kontrol edilebilirlik ve üretim prosesinde istikrar sağlar.

10.2. Sürekli Döküm

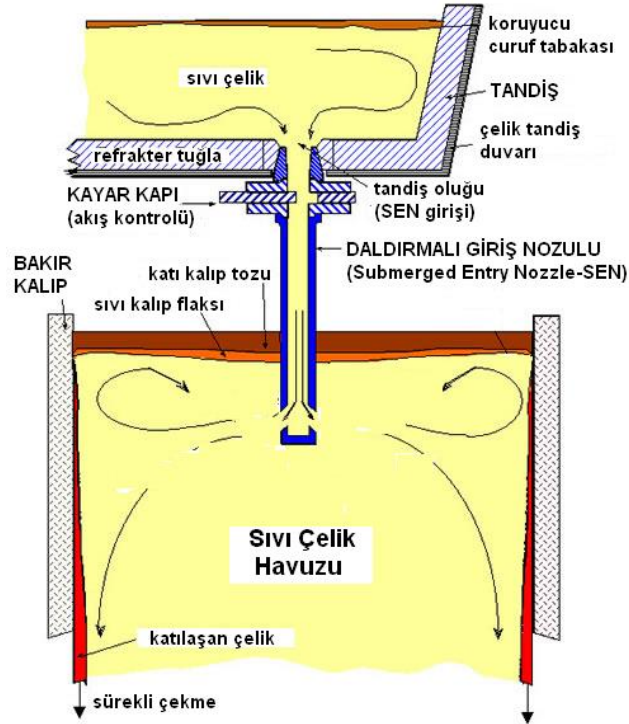
Çelikhanelerde kısa aralıklara yüksek miktarda çelik üretilir (200-500 ton/saat). Bu miktarlar verimli dökülmek zorundadır. Sürekli döküm prosesi, bu miktarları ingot döküme göre, daha çabuk üretme yeteneğinden dolayı ön plana çıkmıştır. Çeliğin sürekli döküm yöntemi ile dökülmesini geliştirmenin amacı, ingot döküm sonucu oluşan çekinti boşlukları ve döküm boşlukları gibi muhtemel hataları yok etmektir.

10.2.1. Sürekli Döküm Prosesi

Sürekli döküm sırasında, sıvı çelik havasız ortamda döküm potasından nozul içerisinden dökülerek tandişe aktarılır. Akış hızı, döküm potasının altına yerleştirilmiş olan piston valfi vasıtası ile ayarlanır. Tandış, refrakter bazlı olup kapasitesi 15-40 ton arasında değişmektedir. Çelik tandışten dökülerek, ön ısıtılmış nozullardan döküm hattının suyla ile soğutulmuş bakır kalıplarına iletilir. Bu akış bir tapa mekanizması ile kontrol edilir. Tapa ya elektrikli bir motor ya da hidrolik sistem ile çalışır ve nozulların üzerindeki tandışın ağzını ya kısmen ya da tamamen kapatır. Çalıştığı yer sıvı çeliğin kalıba akış hızını kontrol edebilecek noktadadır. Üretim sırasında tapanın ayarı çok hassas bir konumlandırma ile kapalı devre kontrol sistemi kullanılarak yapılmalı ve kalıp banyosu seviyesinin yeterli dengesi sağlanmalıdır.



Şekil 10.2. Kontinü slab dökümü



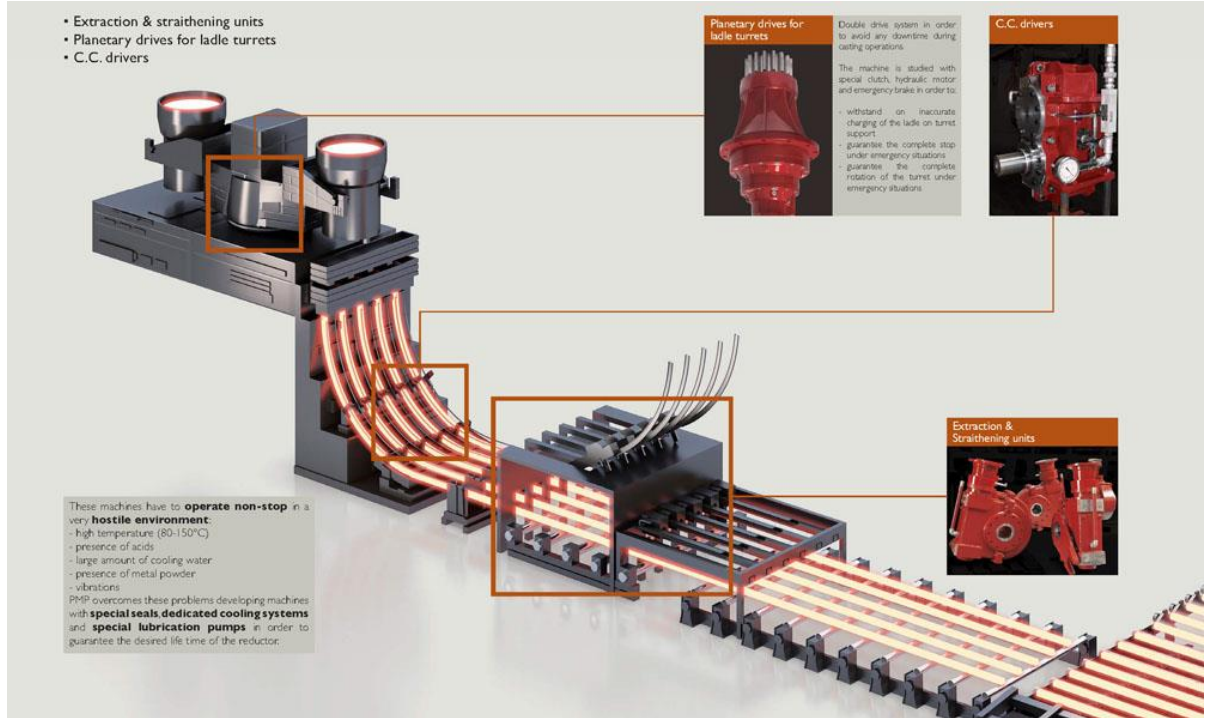
Şekil 10.3. Sürekli dökümdeki tandiş ve katılaşma başlangıç bölgesi

Kalıbın şekli, sürekli döküm ürünü olan kütüğün şeklini de belirler. Döküm işleminden önce kalıp tabanı, tampon görevi yapması için sabit bir çubuk ile kapatılır. Kalıptaki sıvı metal seviyesi istenilen düzeye gelir gelmez kalıp dikey doğrultuda sallanır ve böylece katılaşan kabuk kısmı kalıp duvarlarına yapışmaz. Sadece kalıp yüzeyinde yeni yeni katılaşmaya başlamış akkor halindeki kütük, tampon çubuklar yardımıyla ve ardından hadde merdaneleri ile kalıptan çekilir. Çekirdeği hala sıvı halde bulunduğu kütük, dikkatlice su ve/veya hava püskürtülerek soğutulur ve tamamen katılaşana dek tüm kenarlarından merdaneler ile desteklenir. Bu destek kütüğün yeni oluşmaya başlayan ince kabuğunun parçalanmasını önler. Aşırı yoğun soğutma ile kütüğe üniform bir katılaşma yapısı ve daha iyi mekanik/teknolojik özellikler kazandırılır. Günümüzde, sürekli döküm ile yüksek döküm

hızlarına ulaşılmıştır. Üretilen kütüğün ölçüsüne ve sayısına bağlı olarak, hızlar yaklaşık 0,6-2m/dk arasında değişmektedir. Tamamen katılaştığında, kütük uç makaslar ile istenilen boylara kesilir ve ardından damgalama veya renkli markalama ile sınıflandırılır.

Kontinü dökümün günümüzdeki durumu aşağıdaki özellikler ve sistemler ile karakterize edilir.

- Döner kuleler yardımı ile ardışık döküm ve kütük birleştirmesi iki pota olmasını zorunlu kılar. Ayrıca hızla aşınan tandişler için anahtar görevi gören döndürme araçları vardır; bunlar ayrıca çeşitli çelik alaşımlarının ardı ardına dökülmesine olanak sağlar.
- İleri derecede temiz bir yapı sağlamak (yeniden oksidasyondan kaçınma) için pota ile tandiş ve tandiş ile kalıp arasındaki döküm akışına bir kalkan veya inert gaz yardımı ile perdeleme yapılabilir.
- Kütüğün yapışmasını engellemek için rezonans kalıp ve hidrolik salınım yapılabilir.
- Toz ve granül haldeki döküm flaksları, kütüğün yüzeyini geliştirmek amacı ile otomatik olarak eklenebilir.
- Otomatik genişlik ayarlı kalıp kullanılabilir.
- Otomatik kalıp seviyesi kontrolü ve tahmini kaçık sistemi olan donanımlı kalıp kullanılabilir
- Sabit döküm sıcaklığı sağlanabilir
- Yüksek hassasiyetli ve/veya ayrı merdanelerin eşleştirilmesi ile hassas hat akışı ve sabit kütük kesiti sağlanır.
- Kütüğün genişliğine bağlı püskürtme sistemi ile birlikte tekrar ikili soğutma (su, hava) imkanı olabilir
- Kütük yüzey kalitesini geliştirmek için kalıp içerisinde elektromanyetik karıştırma (yüzeydeki döküm boşlukları ve inklüzyonların ayıklanması) yapılabilir
- Kısmen katılaşmış kütükte elektromanyetik karıştırma, kütük merkezinde segregasyon bölgeleri olmayan yönlendirmesiz katılaşma mikro yapısı yaratır.
- Düzgün bir şekilde çıkan kütük oluşturmak için, ayrıca yüzey gerilmesi, yüzeysel ve içte meydana gelebilecek çatlakları engellemek için uygun tasarımı tutma ve doğrultma merdaneleri vasıtası ile sıcak kütüğün desteklenmesi olabilir
- Hidrolik segment ayarı ve dinamik sıcak redüksiyon söz konusudur.



Şekil 10.4. Sürekli döküm ünitesi



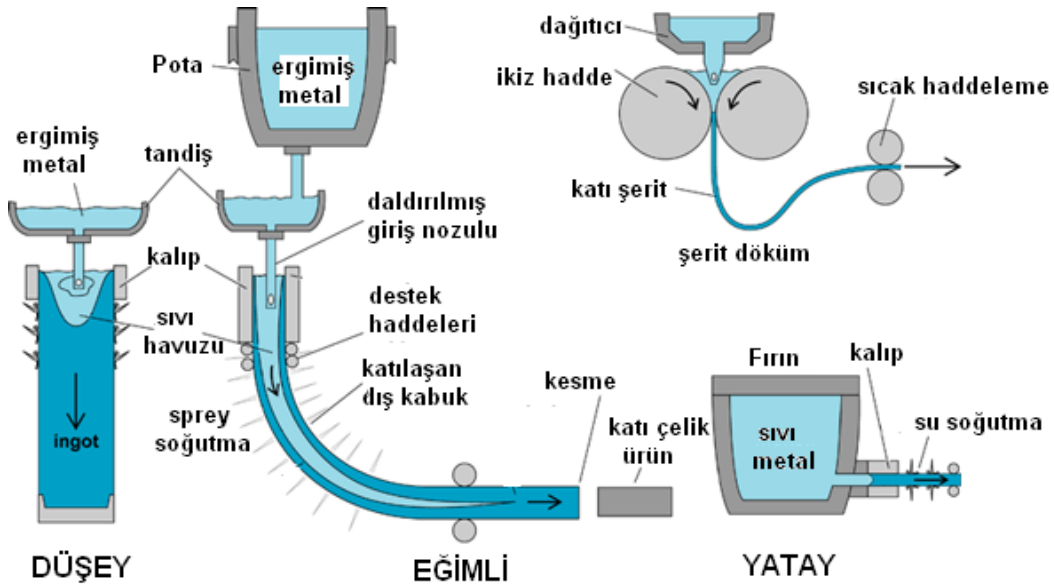
Şekil 10.5. Katılaşmış sürekli döküm ürünü

Dinamik sıcak redüksiyon örneği, mevcut teknolojilerin doğasında olan sürekli gelişim potansiyelinin önemini vurgular. Kütükteki çekirdek bölgesinin oluşumu, sonraki haddeme işleminin belirleyicisidir. Yüksek dereceli çekirdek sıkıştırması, dinamik sıcak redüksiyon ile sağlanır. Bu işlemde segmentlerin hidrolik ayarı ile iki katılma cephesi birlikte preslenir. Çelik özellikleri dikkate alınarak, katı-sıvı ara yüzeyi olarak hesaplanan alanda, segment üst çevresi belli bir kama açısı ile sabitlenir. Böylelikle, hattın kılavuz merdaneleri, katı-sıvı ara yüzeyini sıkıştırmak ve kütüğün porozitesini azaltmak için katılma cephelerini birlikte presler. Bu durum segregasyona meyilli çelik türleri için ürün iç kalitesini geliştirmek açısından özel bir öneme sahiptir.

Günümüzde neredeyse tüm haddelenecek çelik kalitelerini, ikincil metalurji aşamasından önce gerekli tüm işlem prosesleri ile birlikte dökmek mümkündür. Örneğin deoksidasyon ve gaz uzaklaştırma, sürekli döküm öncesinde yapılabilir.

10.2.2. Sürekli Döküm Türleri

Sürekli döküm tesisinin türleri genel hatlarıyla dikey, dikey bükümlü, dairesel ark ve oval eğimli sürekli döküm makineleri başlıkları altında toplanabilir. Dairesel ark ve oval eğimli döküm türleri, makine boylarını önemli ölçüde kısaltmak adına geliştirilmiştir. Günümüzde bu tür kontinü döküm makinelerinin boyları 6 metre civarındadır. Dairesel ark ve oval eğimli döküm makinelerinde, kütük kalıptan dikey olarak değil kıvrılmış şekilde çıkar. Kütük daha sonra düzleştirilerek yatay hale gelir. Günümüzde yapılan sürekli döküm makineleri çoğunlukla dikey eğim tasarımına sahiptir. Dikey boyların 2,5-3 metre arasında değiştiği bu tip döküm makineleri, hattın sıvı metal bölgesinde toplanmış inklüzyon çöktürmesi avantajı sunarlar.



Şekil 10.6. Sürekli döküm yöntemleri

Sürekli döküm ile üretilen karşılıklı kesitler dikdörtgen, kare ve yuvarlak kesitleri içerir. Büyük kesitli profiller için, kütüğün son şekli dikkate alınarak kaba şekilli olarak (kütük dökümünde olduğu gibi) dökülür. Kütük döküm makinelerinde hattın ölçüleri 100*100 mm 'den yaklaşık 370*490 mm'ye kadar değişir. Yassı kütük dökümü yapan tesislerde en büyük ölçü ise 400*2.500 mm şeklindedir. Jumbo dökümcüler olarak adlandırılan dökümcüler ise genişlikte 3.250 mm'yi bulan genişlikte yassı dökümler yapabilirler.

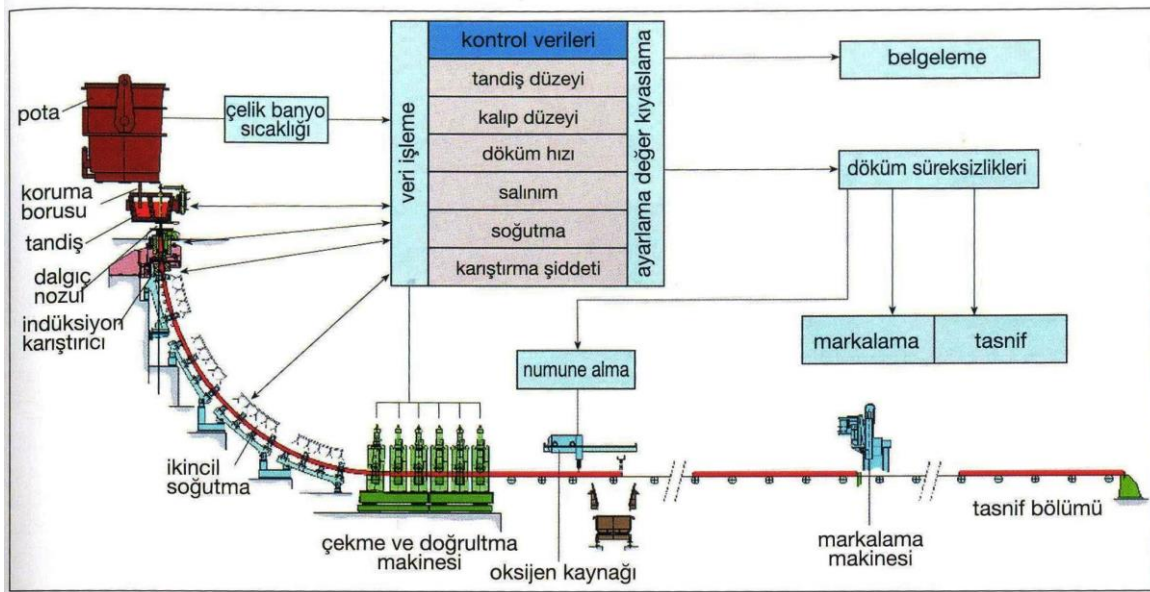
Hatların kesitleri, ingot döküme göre çok daha küçüktür. Bu sayede hazırlık hadde setlerine gerek kalmadan nihai ürün şekli verilebilir. Yarı mamuller daha sonraki sıcak şekillendirme aşamaları için üretilir. Böylece soğutma fırını ve hadde grubu gibi işletmelere ihtiyaç kalmaz. Küçük kesitli kütük üreten döküm makinelerinde, küçük kesitlerde toplam da 8 adete kadar hatta aynı anda sürekli döküm yapılabilir. Sürekli yassı kütük döküm makineleri genellikle ikiz hatlı olarak tasarlanır.

Sürekli döküm prosesinde, proses izleme ve kontrol sistemlerine yüksek düzeyde gereksinim vardır.

Sürekli döküm işlemlerinde karşılaşılan bazı zorluklar aşağıda sıralanmıştır:

- Daldırılmış nozulların tıkanması ve işleme mekanizmasının aksaması.
- Sıcak kütüğün kalıba yapışması.
- Sıcak kütüğün kabuğunun ilk döküm aşamasında yırtılması.
- Destek merdaneleri arasındaki kütüğün yırtılması
- Kalıp seviyesindeki periyodik dalgalanma
- Kütük yüzeyinde salınım lekeleri.
- Yüzey hataları, inklüzyonların sebep olduğu kabuklar.
- Kütük yüzeyinde veya içerisinde çatlaklar, çekinti boşlukları ve döküm boşlukları.
- Sıvı çelik katılaştığında karşılaşılan çözünme ve ayrışmalar sonucu görülen segregasyonlar.
- Inklüzyonlar.

Kural olarak bu gibi problemler çok iyi bir şekilde kontrol altında tutulmalıdır. Bu sebeple, sürekli döküm işletmelerinin çoğunda proses sırasını belirleyen gerekli parametreler otomatik olarak izlenebilir ve kontrol edilebilir.



Şekil 10.7. Sürekli kütük dökümünde istenen kalite özelliklerini gerçekleştirebilmek için gerekli kontrol verileri

Kütüğün kalitesini etkileyen proses ve kontrol parametreleri aşağıda sıralanmıştır;

- Tandış içerisindeki sıvı metal sıcaklığı.
- Döküm flaksı (kompozisyon ve özellikler).
- Kalıbın soğutulması.
- Kalıbın inceltmesi ve kaplanması.
- Kalıp salınımı (frekansı, vuruş, modeli).
- Döküm hızı.
- Manyetik karıştırma işleminin veya elektromanyetik frenin yoğunluğu.
- İkincil soğutma ve püskürtme sistemi.
- Segment ayarı ve destek merdane uzaklığı.

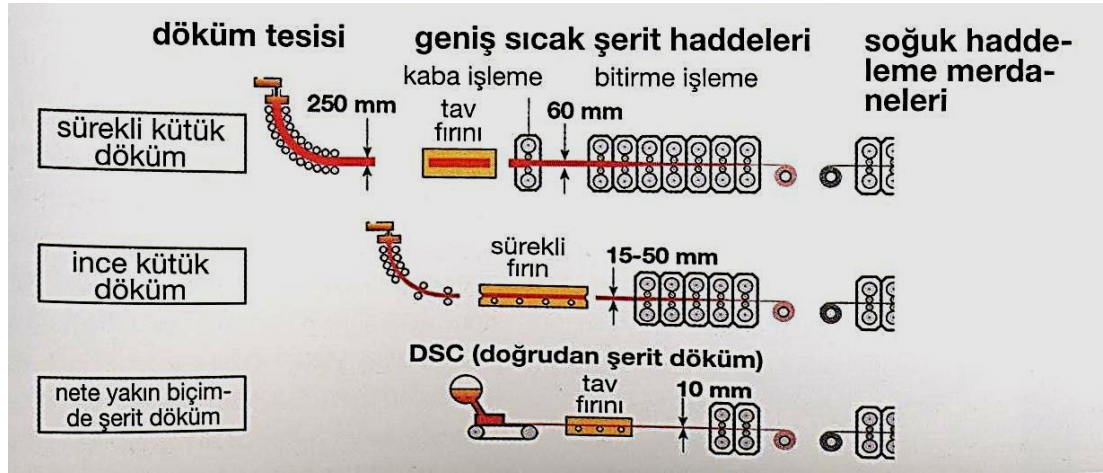
Kısmen önemli olanlar ise; çelik sıcaklığı, kütük çıkarma hızı, kalıp seviyesi kontrol sistemi ve kütük soğutma sistemi arasındaki karşılıklı ilişkilerdir. Kontinü döküm sistemini izlemek ve kontrol etmek için zorunlu ölçümler üst düzey bir proses kontrol sisteminin parçasıdır. Günümüzde, gelişmiş proses kontrolleri, ürün kalitesini arttırmak için proses parametrelerinin dinamik kapalı devre içinde yapılabilmesine olanak tanır.

10.2.3. Nete Yakın Biçimde Döküm (Near-net shape casting)

1980'lerin sonundan itibaren dörtgen kesitli ürünlerin üretiminde 3 farklı proses geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak, "nete yakın biçimde döküm" başlığı altında incelenir. Ayrıca döküm-haddeleme olarak da bilinir.

- İnce yassı döküm (kütük kalınlığı 50-90 mm).
- Nete yakın biçimde şerit döküm (kütük kalınlığı 10-15 mm).
- İnce bant döküm (kütük kalınlığı 1-5 mm).

Bu yöntemlerin geleneksel sürekli döküm ile karşılaştırılmasını gösterir. Görüleceği üzere dörtgen kesitli döküm ürünleri bitmiş ölçülerine ne kadar yakın olursa proses zinciri o kadar kısalmaktadır.



Şekil 10.8. Ham çelikten sıcak haddelenmiş şeritlere kadar olan proses zinciri

Günümüzde ince yassı kütük dökümü, dikey akan sıcak akan haddeleme fabrikalarına doğrudan bağlantılı (döküm haddeleme, ISP veya dahili şerit üretimi olarak bilinir), yerleşik bir teknoloji olarak yerini almıştır. 50 mm kalınlığındaki yassı kütüklerin dökümü, sıvı metali veren daldırılmış nozulları da içine alan huni şeklindeki kalıpların geliştirilmesi ile sağlanmıştır. Makine ile ilgili veriler olsun döküm parametreleri olsun, yüzey hataları ve iç kusurları önlemek açısından geleneksel sürekli dökümde olduğu gibi bu tür dökümde de çok dikkatli izlenir ve korunur. Günümüzde, bu proses yüksek kalitede ve yenilikçi malzemelerin düşük maliyetli üretimine olanak sağlar. Örneğin otomotiv sanayi için istenen çok yüksek yüzey kalitesine sahip yassı ürünler (kaporta sacı olarak kullanılan çelikler) bile bu yöntemle üretilebilir.

İnce yassı kütük döküm teknolojisi başlangıçta sadece hurda temelli çalışan küçük işletmelerde kullanılmıştır. Bu işletmeler böylelikle, önceleri sadece büyük çelik fabrikalarının tek üretici olduğu yassı ürün aralığına girmişlerdir. Günümüzde, ince yassı kütük dökümcüler büyük fabrikalardaki malzeme akışının tamamlayıcı bir parçası olmuştur. Yüksek fırın sistemi düşünüldüğünde, böyle bir düzen, görece yüksek düzeylerdeki eser elementi içeren ve saf olmayan hurda kullanımından kaynaklanan sıvı metal kalitesindeki problemlerin önlenmesini sağlar. Dahası, döküm-haddelemenin ilave ile, entegre çelik fabrikaları direkt hat üzerine 0,8-1 mm kalınlıkta sıcak şerit üretebilir. Sıcak bant ise, soğuk şerit uygulamalarının çoğunda kullanılabilir. Artık ince sıcak şerit üretiminde, geleneksel geniş şerit sıcak hadde fabrikalarına gerek duyulmamaktadır.

Avrupa'daki entegre demir çelik fabrikalarındaki sürekli döküm / şerit üretim ince yassı kütük üretim uygulamalarına örnek olarak Almanya'daki Duisburg - Bruckhausen'de yerleşik ThyssenKrupp Steel tarafından işletilen çift yollu CSP (kompakt bant fabrikası) ve Hollanda'daki Ijmuiden'de yerleşik Corus Strip products'a ait tek yollu DSP (direkt şerit fabrikası) verilebilir. Son zamanlarda kurulan CSP/DSP fabrikaları, elektrik sac, boru ve tüp gibi yüksek kalitedeki çelikler ve otomotiv endüstrisi için çift fazlı çeliklerin üretimine uygun olarak tasarlanmıştır. Elektrik sac üretiminde döküm işleminde sırasında hızlı katılaşma, yüksek sıcaklıkta fırına doğrudan yükleme ve üniform haddeleme, çelik kalitesinde kritik öneme sahiptir. Modern çift yollu fabrikalar,

900-1600 mm genişlik ve 0,8-13 mm kalınlıkta 2,5 milyon ton yıllık üretim kapasitesi ile çalışır. Çelik türü, döküm hızı ve haddeden sonraki kalınlığa göre ince yassı kütük kalınlığı 55-90 mm arasında değişir.

İnce yassı kütük üretimi için seçilen bu proses durağan bir şekilde çalışmakta iken, albeit sarsarak kalıplar genelde 5 ile 6 m/dk. hızla döküm yaparlar. Dolaşan kalıplar olarak da adlandırılan bu kalıplar net şekle yakın şerit ve ince şerit dökümünde kullanılırlar. Bunlar daha yüksek döküm hızlarını mümkün kılarlar. Ve daha yüksek döküm hızları yüzünden de daha hızlı katılaşma hızı meydana gelir ve ilk mikro yapıları oluşturur.

Dikey çelik besleme sisteminin eşlik ettiği çift merdaneli işlem ince yassı kütük dökümünde kökleşmiştir. Bu tür döküm makineleri çeşitleri laboratuvar ölçeğinden, tam teçhizatlı fabrika ölçeklerine kadar geniş bir aralıktadır. Örneğin, ticari ve yarı ticari fabrikalar bunu paslanmaz çelik dökümünde kullanır. ABD de bu sistem ayrıca karbon çeliklerinde de kullanılır. DSC yöntemi ile nete yakın ölçüde 10-12 mm kalınlık şerit (bant) dökümü henüz deneme aşamasındadır. Bununla birlikte ileri şerit döküm prosesleri tüm dünyaya yayılmaktadır.

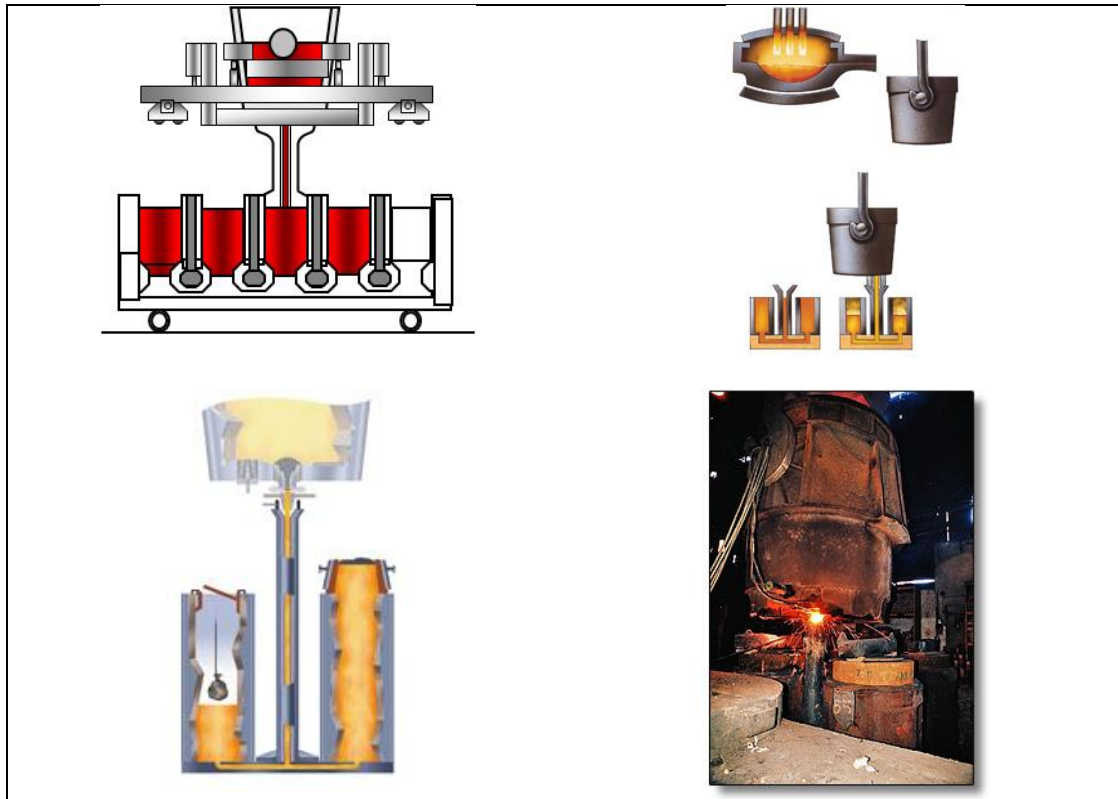
10.2.4. Yatay Sürekli Döküm

Yatay sürekli döküm prosesi (Şekil 10.6) toplam yüksekliğin indirildiği ileri sürekli döküm teknolojisidir. Yatay sürekli sistemler, normal sürekli proseslerinde, eğilip düzeltilemeyen özel çeliklerin üretiminde kullanılır.

Yatay sürekli dökümde, yine sadece dış kabuğu katılaşan kütük, fiziken kalıp içerisinde çekilir. Kalıp, kütük ile birlikte belirli bir miktar gidip tekrar ilk pozisyona gelecek şekilde salınım gösterebilir. Yatay sürekli döküm makineleri kütük ve yuvarlak malzeme üretiminde görece az miktarlarda üretim kapasitesinde kullanılır. Döküm hızları geleneksel sürekli döküm hatlarına göre daha yavaştır.

10.3. Ingot Döküm

İngot döküm terimi, çelik dökümünün, kare, dikdörtgen, yuvarlak, oval veya poligonal gibi basit geometrik şekillerdeki yukarı doğru incelen (konik) kalıplara yapılmasıdır. Katılaşan çelik, ingot veya kütük olarak adlandırılır. Kütüklerin genişliği kalınlığının en az iki katıdır. Daha verimli sürekli döküm prosesi çoğu yerde ingot dökümün yerini almıştır bununla birlikte bazı ölçüler, çelik türleri ve son ürünler için ingot döküm tek alternatif olarak durmaktadır. İngotlar çoğunlukla dövme uygulamaları için üretilirler. Yüksek saflıkta olanlar elektrik santrallerinde (türbin şaftları gibi) ve hava uzay uygulamalarında kullanılır. Ultra yüksek saflıkta talepler için, ingotlar elektro-curuf ertitme (ESR prosesi) işlemine tabi tutulur.



Şekil 10.9. Ingot döküm

Doğrudan döküm olarak da bilinen üstten döküm yöntemi ile 300 tona kadar döküm yapılabilir. Çelik, döküm potasından doğrudan kalıba akar. Döküm yüzeyi, kalıp çeperinde hızla katılaşan metalin sıçramasından ötürü kaba ve değişken ölçülü olabilir. Alttan döküm veya grup dökümde, birkaç ingot kalıbı aynı anda sıvı çelik ile doldurulur. Çelik ilk olarak, merkezdeki refrakter kaplı besleyici kanalları ile kalıplara bağlı döküm ağzına akar. Sıvı çelik kalıp içerisinde yavaşça yükselerek (yukarı doğru döküm), daha iyi bir yüzey kalitesi ortaya çıkarır. Normalde, bir grup dökümde 2 ile 8 adet kalıp kullanılır.

Katılaşma sırasında, ingot veya kütüğün tepe noktası büzülerek boşluklar oluşturur. Bu sebeple, bu bölge bir sonraki şekillendirme için uygun değildir. Bu bölge eğer "sıcak başlık" kullanımı, flaks ilavesi, özel ısıtma cihazları uygulaması veya doğru egzotermal malzemeler kullanımı ile sıcak tutulabilirse, sıvı çelik katılaşma tamamlanana dek yukarı doğru akmaya devam edebilmektedir. Böylece herhangi bir çekinti boşluğu oluşumu tepe bölgesi ile sınırlandırılmış olur. Katılaşma aşaması tamamlandıktan sonra, kalıplar vince asılı maşa benzeri bir aletle veya yatay pozisyonundaki özel itici aletler yardımı ile ingot veya kütükten soyulur. Bunlar daha sonra ileriki işlemler veya ara depolama için sevk edilir. Almanya'da, ingot döküm tüm ham çelik üretiminin yaklaşık %4'ünü teşkil etmektedir.

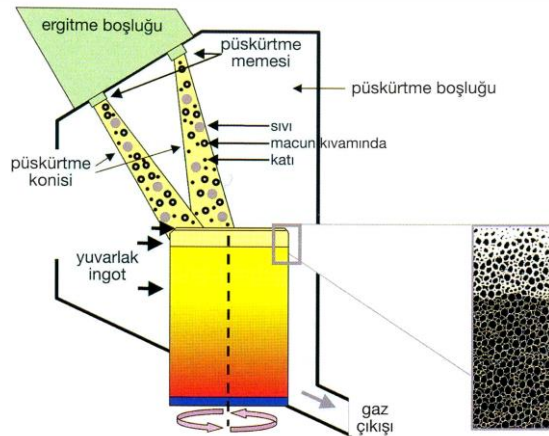
10.4. Püskürtme ile Şekillendirme

Püskürtme ile şekillendirme (püskürtme ile sıkıştırmada denir) geleneksel şekillendirme ile toz metalurjisi arasında yer alan yeni bir şekillendirme işlemidir. Sıvı metaller (sıvı çelik de dahil) püskürtme (atomizasyon) veya uygun şekilli tabakalar halinde püskürtme ile şekillendirilir.

Bu proses, çubuk, tüp ve lama gibi yarı mamullerin yanı sıra kompozit malzemeler (yüzeyi koruyucu aşınma tabakalı borular gibi) üretiminde de kullanılır. Bu proses ile malzeme özelliklerini önemli ölçüde geliştiren, değişik öneme sahip şu avantajlar elde edilir:

- Minimum ya da sıfır segregasyon
- Küçük tane boyutlu, iyi bir mikro yapısı olan malzeme üretimi
- En alt seviyede oksijen içeriği
- Çok iyi homojenlik
- En alt seviyede porozite

Özelliklerdeki iyileşmeler üretim sırasında metal damlacıklarının çok hızlı soğutulması ile sağlanır. Püskürtme ile şekillendirme Belli malzemelerin küçük tonajlarda endüstriyel ölçekli üretiminde kullanılmaktadır. Diğer malzemeler ise özel uygulamalar için gerekli farklı proses değişkenleri sebebiyle gelişme aşamasındadır. Neredeyse tüm önemli malzemeler artık püskürtme ile şekillendirme yöntemi ile üretilebilir (örneğin Fe, Cu, Al, Ti, Ni, Mg)



Şekil 10.10. Püskürtme ile şekillendirme

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

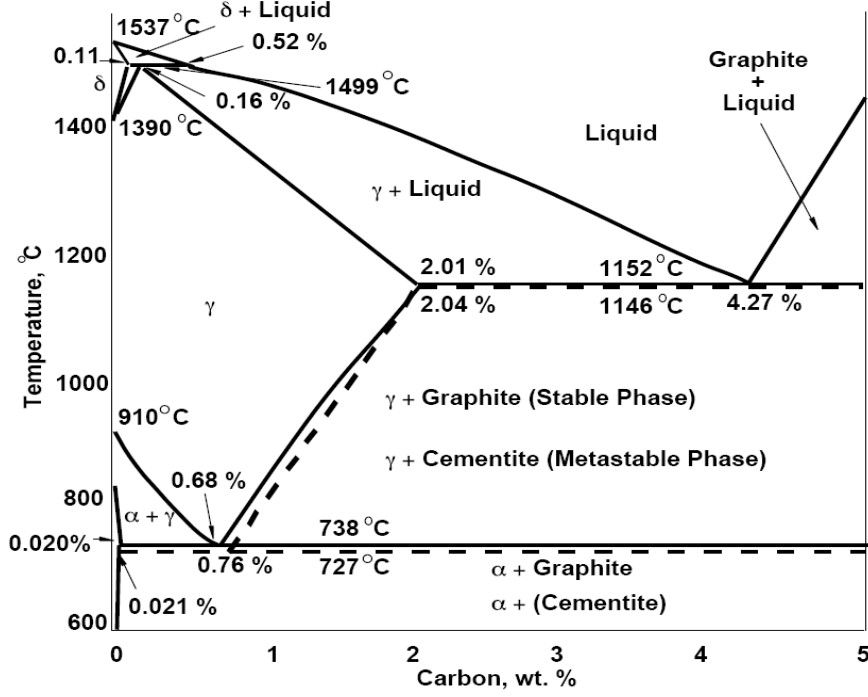
Hakan KOÇAK, Çelik Rehberi, Sağlam Metal, 2012.
<http://ccc.illinois.edu/introduction/overview.html#techniques>
<http://www.doral.com.au/view/products/what-we-produce/>
http://www.sms-siemag.com/en/steel_continuous_casting_technology.html
http://www.ssab.com/Global/SSAB/Brochures/en/Images_steelbok/Continuous_casting.jpg
<http://www.pmp-industries.com/continuous-casting.html>
<http://www.accessscience.com/loadBinary.aspx?filename=YB040575FG0010.gif>
<http://www.thefabricator.com/article/metalsmaterials/the-science-of-steel>
<http://www.kalyanincarpenter.com/images/ingot-cast.jpg>
http://www.diamond-eng.co.jp/en/images/products/3113_001.jpg

BÖLÜM 11

DÖKME DEMİR – ÇELİK TÜRLERİ VE STANDARTLAR

11.1. Dökme Demirler

Dökme demir, % 2,1'den fazla C içeren Fe-C-Si-X alaşımlarıdır. Dökme demirlerin özelliklerini en fazla etkileyen bileşen **karbon**'dur. Yapıdaki karbon, ya bileşik halde (sementit: Fe_3C) ya da serbest halde (grafit) olarak bulunur. İçindeki karbonun grafit şeklinde olanlarına gri dökme demir, sementit şeklinde olanlara ise beyaz dökme demir denir. 1150 °C derece ile eridiği sıcaklık çeliğin erime sıcaklığından düşüktür.



Şekil 11.1. Fe-C faz diyagramı

Yüksek fırından elde edilen pik demirin kupol ocakları veya indüksiyon ergitme ocaklarında yapılarındaki karbonun % 4 ün altına düşürülmesi ve sülfür, fosfor gibi istenmeyen empüritelerin giderilmesinin ardından dökme demir elde edilir.

Pik demirdeki *manganın fazla olması* demirin karbonla Fe_3C şeklinde bileşik yapmasını kolaylaştırır ve elde edilen pik demirdeki *sementit fazından dolayı beyaz renktedir*. Bu tür pik demir çelik üretiminde kullanılır. Pik demirde silisyum daha fazla bulunuyorsa silisyum pik demirin soğumasını yavaşlatacak ve pik demirdeki karbonun serbest halde yani grafit halde bulunmasını sağlayacaktır. Bu tür pik demir daha çok dökme demir imalinde kullanılır.

Grafitli dökme demirler, grafitin yapısına göre başlıca 4 gruba ayrılır;

- Lamel grafitli dökme demir (gri dökme demir/kır dökme demir)
- Küresel (sfero) grafitli dökme demir
- Temper dökme demir (Rozet grafitli)
- Beyaz dökme demir (sert dökme demir)

Tablo 11.1. Dökme demirlerin kimyasal kompozisyonları (%)

	Toplam C	Si	S	P	Mn	Fe
Beyaz D.D.	2.5-4.0	0.4-1.6	0.15	0.4	0.3-0.8	Kalan
Gri D.D.	2.0-4.0	en az 1.0	0.2	0.6	en çok 1.0	Kalan
Temper D.D.	2.0-3.0	0.9-1.8	en çok 0.2	en çok 0.2	0.25-1.25	Kalan
Küresel D.D.	3.2-4.1	1.8-2.8	en çok 0.03	en çok 0.1	en çok 0.8	Kalan

Grafitlerin yapıdaki şekli, sayısı ve büyüklüğü malzemenin mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Grafitlerin ince tabakalı ve keskin köşeli olması, iç gerilmelere sebep olur ve bu bölgelerde kırılma ve çatlamlar meydana gelir.

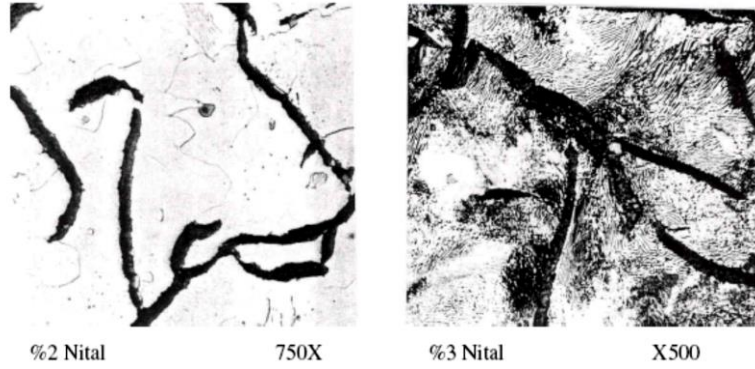
Lamel grafitli dökme demir (gri dökme demir/kır dökme demir)

Katılaşmadan sonra, içerdği karbonun büyük kısmı serbest halde veya başka deyimle grafit lamelleri halinde bulunacak şekilde bir bileşime sahip dökme demir tipidir. Gri dökme demirin kırık yüzeyi isli gri renktedir.

Gri dökme demir kodlamaları: (DIN 1691)

GG 15, GG 20, GG 25, GG 30, GG 35, GG 40

Kullanım yerleri: İyi işlenebilir ve yüksek zorlanmalara dayanıklı döküm parçaları



Şekil 11.2. Gri dökme demirlerin mikroyapıları (soldaki ferrit yapılı, sağdaki perlit yapılı)

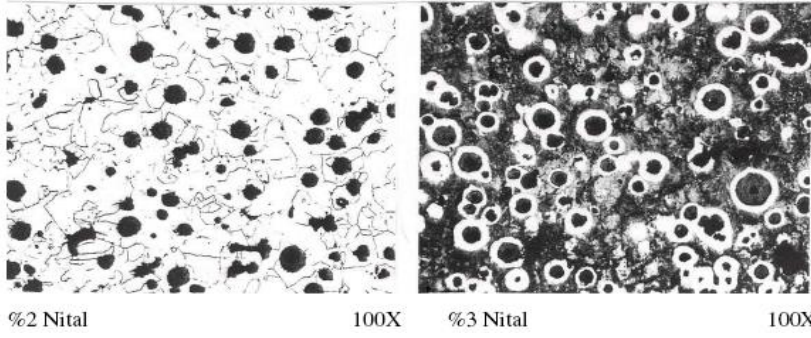
Küresel grafitli dökme demir (Sfero dökme demir)

Küresel grafitli dökme demirler, lamel grafitlerinin küreleştirilmesiyle elde edilir. Bu işlem için sıvı metale belli oranlarda ve yöntemlerle Mg ve Ce ilave edilir. Geliştirilen bazı Mg esaslı alaşımlar da ihtiyacı karşılamaktadır. Küresel grafitli dökme demirler, diğer dökme demirlere göre daha yüksek mukavemetlidir. Ancak küreleştirmenin başarılı olması için, ham malzemenin kükürt miktarı %0,02 civarına düşürülmesi gerekir. Küresel grafitli dökme demirler, bu önemli özellikleri nedeniyle otomotiv sanayinde en çok kullanılan dökme demir çeşididir.

Tablo 11.2. Küresel grafitli dökme demirin bileşimi ve özellikleri

% BİLEŞİM		
Karbon	(C)	3.00-4.00
Silisyum	(Si)	2.00-3.00
Mangan	(Mn)	0.10-0.90
Fosfor	(P)	0.10 Max.
Kükürt	(S)	0.03 Max.
Magnezyum	(Mg)	0.030-0.080

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKRO YAPI VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ					
Malzeme Cinsi	GGG 40	GGG 50	GGG 60	GGG 70	GGG 80
Mikro Yapı	FERRİTİK	←→			PERLİTİK



Şekil 11.3. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı

Küresel grafitli dökme demir kodlamaları: (DIN 1693)

GGG 40, GGG 50, GGG 60, GGG 70, GGG 80

Tablo 11.3. Küresel grafitli dökme demirin kullanıldığı alanlar

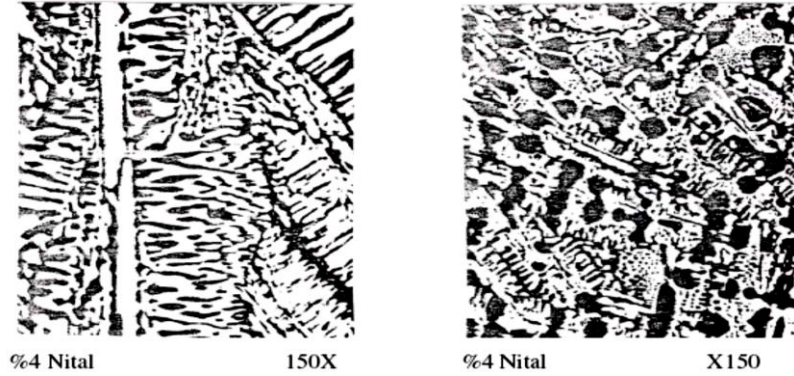
Küresel Grafitli Dökme Demir, Çeşitli Endüstri Alanlarında Kullanılır.
MADENCİLİK VE METALURJİ: Kırıcı Gövdeler, Alüminyum ve Kurşun Ergitme Potaları, Sıcak Hadde Merdaneleri.
MAKİNA: Hidrolik Presler, Silindirler, Dişliler.
TARIM: Traktör Parçaları, Pedallar, Transmisyon Kutuları.
İNŞAAT: Yağmur Suyu Izgaraları ve Bakım Rogarı Kapama Elemanları ,Vinç Parçaları, Karıştırıcılar, Yol ve İnşaat makineleri
KİMYA: Valfler, Pompalar, Plastik Karıştırıcılar.
OTOMOTİV: Diferansiyel Dişli Kutusu.
GÜÇ: Kompresör Gövde Ve Kafaları, Brülör Gövdeleri, Isıya Dayanıklı Fırın Parçaları



Şekil 11.4. Küresel grafitli dökme demirden üretilmiş bazı malzemeler

Beyaz dökme demir (sert dökme demir)

Katılaşmadan sonra içerdği karbonu, karbür şeklinde kimyasal olarak birleşmiş olacak bir bileşime sahip dökme demirdir. Beyaz dökme demir kırıldığında beyaz, kristalli bir yüzey gösterir.



Şekil 11.5. Beyaz dökme demirin mikroyapıları

Temper dökme demir (Rozet grafitli)

Temper dökme demir, tamamen grafitli sert ve kırılgan beyaz dökme demirin temperleme tabir edilen ısıtıl işlem ile karbürlerinin parçalanması sonucu oluşan, yüksek mukavemetli, sünek, iyi işlenebilir özelliklere sahip mikroyapısı ferrit ve temper karbonundan meydana gelen dökme demir tipidir.

Temper dökme demir kodlamaları: (DIN 1692)

GGW 35, GGW 40, GGW 45, GGW 55

Kullanım yerleri: Temper dökme demirler flanslarda, borularda, bağlantılarda ve valf parçalarında kullanılır. Birçok otomobil parçası, kompresör krank mili ve göbeği, transmisyon ve diferansiyel parçaları, bağlantı çubukları ve universal bağlantılar temper dökme demirden üretilirler.



Şekil 11.6. Temper dökme demirin mikroyapısı

11.2. Çeliklerin Sınıflandırılması

Günümüzde çelikler genellikle bileşime, standardizasyon özelliklerine ve kullanım yerlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Bileşime göre çeliklerin sınıflandırılması

1) SADE KARBONLU ÇELİKLER

Demirden başka ana alaşım elementi olarak sadece C içeren; fakat % 0,2 Si, % 0,6 Mn, % 0,1 Al, % 0,1 Ti ve % 0,25 'e kadar içerisinde alaşım elementlerini de bulundurabilen çeliklerdir. Sade karbonlu çelikler karbon içeriğine göre 3'e ayrılmaktadır:

Düşük karbonlu çelikler :

% 0 - 0,20 arasında C içeren çeliklerdir. Mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak yumuşak çelikler olarak da isimlendirilirler. Dünya çelik üretiminin büyük kısmı düşük karbonlu çeliklerdir. Özellikle yassı ürünlerin kullanıldığı otomobil kaportaları ve boru hatları ile inşaat sektörü ve temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller, düşük karbonlu çelikler sınıfında yer almaktadır.



Şekil 11.7. Düşük karbonlu çeliklerden üretilen bazı mamüller

Düşük karbonlu çelikler ısıtılma işlemiyle yeterince sertleştirilemezler. Ancak soğuk deformasyon ile kısmen sertleştirilebilirken süneklik özellikleri bozulur. Yüzey sertleştirme işlemleri ile (sementasyon, nitrürleme v.b) yüzeyleri sert iç tarafları yumuşak kalabilen parçaların üretiminde kullanılırlar. Düşük karbonlu çeliklerin kaynak ve talaşlı imalat için işlenebilme kabiliyetleri çok iyidir. Bu yüzden haddeleme, dövme, preste şekil verme ve derin çekme işlerinde tercih edilen çeliklerdir.

Tablo 11.4. Düşük karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	%
C	0 – 0,20
Mn	0,30 – 0,60
Si	0,10 – 0,20
P	0,04 max.
S	0,05 max.

Orta karbonlu çelikler :

Bu gruptaki çelikler % 0,20 – 0,50 karbon içeren çeliklerdir. Karbon miktarına bağlı olarak orta derecede mekanik özelliklere sahiptirler. Bu gruptaki çeliklerin en büyük özellikleri ısıl işleme yeterli derecede sertleştirilebilmeleridir. Bu yüzden genellikle makine imalat sanayinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere göre daha azdır. Benzer şekilde düşük karbonlu çeliklere göre kaynak kabiliyetleri de daha düşüktür. Çünkü kaynak sırasında meydana gelen ısı çeliğin yapısal değişiminin de kontrolsüz olmasına neden olarak malzemede hatalara sebep olabilir. Bundan dolayı orta karbonlu çeliklerin (özellikle alaşım elementi içerenlerinin) kaynak işlemlerinde dikkatli olmak gerekir. Genellikle makine parçaları, cıvata, somun, dingil, gemi şaftı, uskur mili, dişli çark, transmisyon mili, frezeli mil, yük kancası, manivela kolu, ray, kazma, kürek gibi araç gereçlerin yapımında kullanılırlar.

Tablo 11.5. Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	%
C	0,20 – 0,50
Mn	0,60 – 0,90
Si	0,15 – 0,30
P	0,04 max.
S	0,05 max.



Şekil 11.8. Orta karbonlu çeliklerden üretilen bazı mamüller

Yüksek karbonlu çelikler :

% 0,50'den daha fazla karbon içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemetli ve sünekliği az olan çeliklerdir. Isıl işleme sertleştirilmeleri sonucunda oldukça yüksek sertlik kazanırlar. **En sert ve dayanıklı** fakat en az uzama gösteren çeliklerdir. Özellikle yüksek aşınma dayanımına sahiplerdir ve böylece kesici özelliği kazanırlar. İşlenme ve şekil alma kabiliyetleri düşüktür. Kaynak kabiliyetleri de düşük olup özel yöntemler ile kaynakları yapılabilir. Bu gruptaki çeliklerin ısıl işlemleri de özel itina isteyen işlemlerdir. Sert olup işlenmeleri zordur ve genellikle yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar.

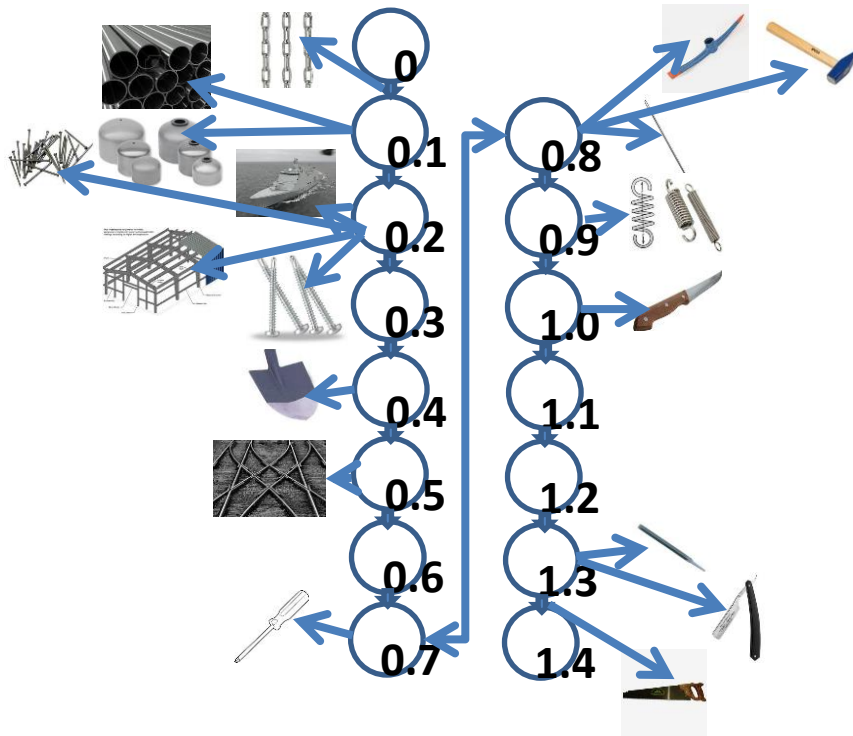
Kullanım alanlarına örnek olarak; özellikle takım ve kalıp üretiminin yanı sıra, kesme aparatları, bıçak, jilet, testere, yay, yüksek dayanımlı kablolar, mil, şaft, cıvata, somun, spiral ve yaprak yaylar, makaslar, kesici basit takımlar, zımba, kepçe dişlisi, greyder bıçağı, yüksek mukavemetli makine parçaları, ege, keser, ağaç testeresi gibi araç gereçler gösterilebilir. Yüksek karbonlu çeliklerin bileşiminde bulunan C miktarının sınırı, Fe-C denge diyagramı gereğince % 2,1'e kadar çıkabilirse de gerçekte bu değer (çok özel durumlar haricinde ancak) % 1,2 – 1,4 sınıra kadar kullanılır.

Tablo 11.6. Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimi

Element	%
C	0,50'den fazla
Mn	0,70 – 1,00
Si	0,15 – 0,30
P	0,04 max.
S	0,05 max.

Tablo 11.7. Karbon oranına bağlı olarak çeliklerdeki özelliklerin değişimi

Düşük Karbonlu Çelikler % C 0 - 0.25	Orta Karbonlu Çelikler % C 0.25 - 0.55	Yüksek Karbonlu Çelikler >% C 0.55
Süneklik, şekillendirilebilirlik		
Kaynak kabiliyeti		
Mekanik dayanım		
Aşınma dayanımı		



Şekil 11.9. Karbon miktarına bağlı olarak çeliklerin örnek kullanım alanları

2) ALAŞIMLI ÇELİKLER

İçerisinde C ile beraber ve sade karbonlu çeliklerde belirli limitlere kadar olabilen alaşım elementlerinin bu sınırlar ötesinde olabildiği, ayrıca diğer alaşım elementlerini de içerebilen çeliklerdir. Bu grupta yer alan çelikler 2'ye ayrılır:

Düşük alaşımli çelikler :

Alaşım elementi ve elementlerinin toplamı % 5' ten az olan çeliklerdir. Genellikle yüksek mukavemetli yapı çeliği ve makine parçaları üretiminde elverişlidirler. Kare, dikdörtgen veya yuvarlak çubuklar halinde bulunabilir. AISI 4140, 8620, 4340, 9260, vs.

Yüksek dayanımlı düşük alaşımli (HSLA) çelikler : C oranı % 0.1 den az olup alaşım elementi miktarı da %1 den azdır. Alaşım elementleri kuvvetli karbür yapıcı Ti, Nb vs. dir. Çok ince taneli yapısından dolayı dayanım ve süneklikleri yüksektir. Saç ve levha şeklinde imal edilir ve otomotiv sektöründe yaygın kaporta malzemesidir.

Yüksek alaşımli çelikler :

Alaşım elementi veya elementlerinin toplamı % 5' ten yüksek olan çeliklerdir. Özel amaçlarda kullanılır.

- % 18 Cr % 8 Ni ® Paslanmaz çelik
- % 13 Mn (Hadfield çeliği) ® Yüksek aşınma direnci

YÜKSEK MANGANLI (HADFIELD) ÇELİKLER



GX120Mn12 / 46-102 Kg



GX120Mn12 / 37Kg.-44Kg



Şekil 11.10. Hadfield çeliği

Tablo 11.8. Karbon çeliklerinin ve alaşım çeliklerinin karşılaştırması

Karbon Çelikleri	Alaşım Çelikleri
Düşük maliyet Kolay elde edilebilirlik	Yüksek dayanım Yüksek aşınma dayanımı Tokluk Yüksek sıcaklık dayanımı Daha iyi korozyon dayanımı Özel elektriksel özellikler

*Alaşım çelikleri karbon çeliklerinden daha pahalıdır. Bu yüzden sadece özel durumlarda kullanılırlar.

11.3. Çelik Standartları

Çeliklerle ilgili Türk Standartları'nın hazırlanmasında DIN – Alman Standartları esas alınmıştır. Bu nedenle Alman Standartları içinde yer alan örnekler, Türk Standartları için de geçerlidir.

ALMAN STANDARTLARI (DIN)

Alman Standartları malzeme tanımlaması için 3 değişik sistem kullanmaktadır. Bunlar,

1. Malzeme Numarası
2. Çeliğin çekme dayanımına göre kısa işareti
3. Çeliğin kimyasal analizine göre kısa işareti

Malzeme Numarası					
Malzeme Numarası	X .	X	X	X	X
Malzeme Cinsi					
(Çelik için 1)					
Çelik Türü					
Çelik Türü					
(Alt Grubu)					
Sıra Numarası					

Örnek:

1.4000 : Korozyona dayanıklı %0,07 C ve % 13 Cr içeren çelik.

Çok haneli isimlendirme şekli, ısmarlama ve depolama gibi işlemlerde kullanılır. Fakat öğrenen birisi için malzemenin çeşidi ve bileşimi hakkında hiçbir şey söylemez.

11.3.1. Çeliğin Çekme Dayanımına Göre Kısa İşareti

Çeliğin minimum çekme dayanımı (Kg/mm²) esas alınarak gösterilir.

- Örnek : St 37

En az 37 Kg/mm² veya 370 N/mm² çekme dayanımına sahip olan çeliği tanımlar.

- **St 33** : Üretici firmanın garanti etmiş olduğu 33 kg/mm² değerindeki minimum çekme mukavemetine sahip, alaşımsız kütle çeliğidir.
- **St 37-2** : Üretici firmanın garanti etmiş olduğu 37 kg/mm² değerindeki minimum çekme mukavemetine sahip, kalite grubu 2 olan alaşımsız kütle çeliğidir. (Kaynak işlemi için daha uygun olduğunu belirtiyor.)

11.3.2. Çeliğin Kimyasal Analizine Göre Kısa İşareti

Karbon Çelikleri

“C” ön harfi ile tanımlanır ve “C” harfinden sonra gelen sayı yüzde C miktarının 100 katını gösterir.

- **C35**; % 0,35 oranında karbon içeren, ısıtılabilir, alaşımsız kalite çeliğidir.
- Ayrıca diğer özellikler “C” harfinden sonra k, m, q ve f harfleri konularak tanımlanmaktadır.

HARFLER	TANIM
Ck	Genel amaçlı kaliteli karbon çelikleri(Düşük P ve S)
Cm	Kükürt miktarı belli sınırlar içerisinde olan ıslah edilebilir karbon çelikleri
Cq	Soğuk şekillendirilebilir karbon çelikleri
Cf	Alevle ve indüksiyonla yüzeyi sertleşebilir karbon çelikleri

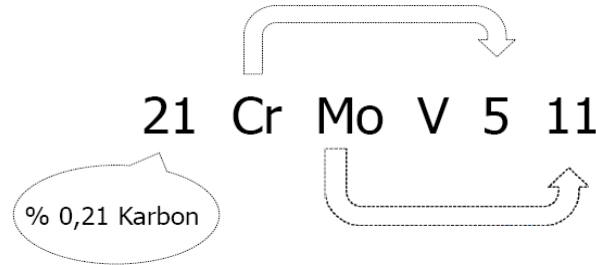
Ck10; % 0,1oranında karbon içeren, ısıl işlem uygulanabilen, içerisinde düşük fosfor, kükürt ve metalik olmayan kalıntılar bulunan, alaşımsız çeliktir.

Düşük Alaşımlı Çelikler

Alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarı %5 veya %5’ ten az çeliklerdir. Bu çeliklerin kısa işaretindeki ilk rakam Karbon miktarının 100 katı olup, bu sayıdan sonra alaşım elementi veya elementlerinin sembolleri ile daha sonraki sayı ve sayılarla da alaşım elementinin yüzde olarak ağırlıkları verilmektedir. Bu sayılar aşağıdaki alaşım elementi çarpanına bölünerek o elementin yüzde ağırlığı bulunur.

- Cr, Mn, Si, Ni, Co, W için “4”
- Al, Cu, Pb, Mo, V, Ti, Zr, Ti, T için “10”
- C, S, P, N için “100”
- B için “1000”

41Cr4 ; 41 sayısı; $41/100 = 0,41$ ortalama % C miktarını, 4 sayısı; $4/4 = 1$ ortalama % Cr miktarını ifade eder.



- % 0,21 oranında karbon ;
- $(5/4) = \% 1,25$ oranında krom ;
- $(11/10) = \% 1,1$ oranında molibden ve çarpım faktörü sonucu %1’in altında kalacak şekilde az miktarda vanadyum içeren düşük alaşımlı çeliktir.

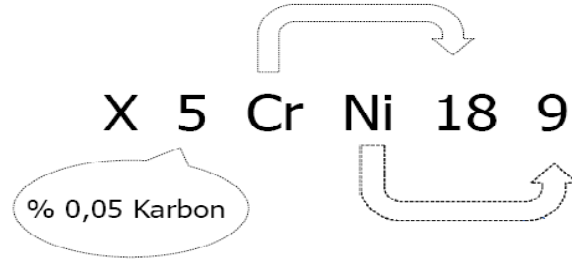
Yüksek Alaşımlı Çelikler

- Alaşım elementlerinin ağırlık olarak toplam miktarı %5’ten fazla olan çeliklerdir.
- Yüksek alaşımı belirlemek için tüm ifadenin başına bir “X” işareti konulmuştur.
- “X” harfinden sonra gelen sayı ortalama C miktarının 100 katıdır.

Bu sayıdan sonra alaşım elementlerinin sembolleri ile bunların yüzde olarak ağırlıklarının miktarları verilir. Tüm alaşım elementlerinin çarpanları “1” olarak kabul edilir.

Örnek : X20Cr13

- 20 sayısı; $20/100 = 0,20$ ortalama % C miktarını,
- 13 sayısı; $13/1 = 13$ ortalama % Cr miktarını ifade eder.



% 0,05 oranında karbon ;

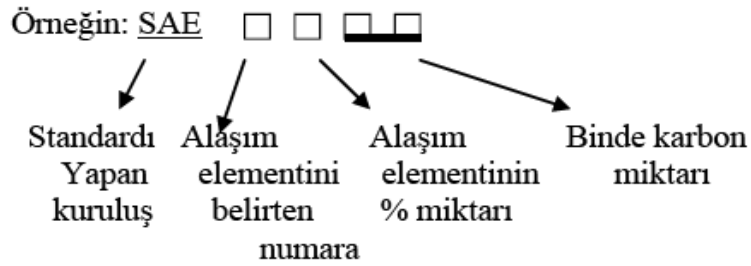
% 18 oranında krom ;

% 9 oranında nikel içeren ;

yüksek alaşımlı çeliktir.

SAE / AISI – AMERİKAN STANDARTLARI

SAE ve AISI sistemlerinde malzemenin kısa işareti 4 veya 5 haneli sayı sistemi kullanılarak yapılır. 5 haneli sayı sistemi % C miktarı 1'in üzerinde olduğu zaman yapılır. İlk 2 rakam çelik türünü, diğer 2 veya 3 rakam ise % C miktarının 100 katıdır.



AISI 10xx 1020, 1040, 1080, 10130, vs

C% x 100

- Çoğunlukla;
 - Saç (DKP, Derin çekme (Deep drawing quality), etc.
 - Profiller (I, U, H, T, L, vs)
 - Daire, kare, dikdörtgen, altıgen, çubuklar halinde yoğruk yapıda bulunur.

AISI 2340 çeliği ;

% 3 Ni (% 3,25 –3,75 Ni),

% 0,40 C, (%0,38 –0,43 C)

ASINO:	% C	% Mn	% P (Max)	% S (Max)
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05

Tablo 11.9. Çelik kodları ve ana alaşım elementleri

Çelik Kodu	Ana alaşım elementleri
10XX, 11 XX	Sadece karbon
13XX	Manganese
23XX, 25 XX	Nickel
31XX, 33XX, 303XX	Nickel-Chromium
40XX	Mo
41XX	Cr-Mo
43XX & 47XX	Ni-Cr-Mo
44XX	Mn-Mo
48XX	Ni-Mo
50XX, 51XX, 501XX, 521XX,	Cr
61XX	Cr-V
81XX, 86XX, 87XX, 88XX	Ni-Cr-Mo
92XX	Si-Mn
93XX, 98XX	Ni-Cr-Mo
94XX	Ni-Cr-Mo-Mn
XXBXX	Boron
XXLXX	Lead

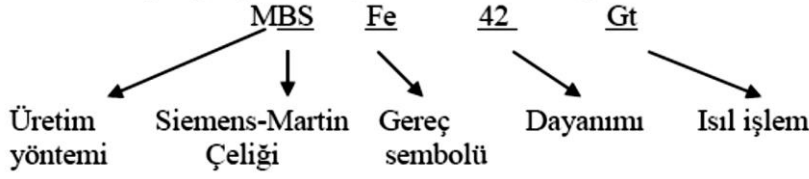
Tablo 11.10. Amerikan standartlarına göre sınıflandırma

Numerals and digits ^a	Type of steel and nominal alloy content ^b	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content
Carbon Steels			Nickel-Chromium-Molybdenum Steels		Chromium Steels
10XX(a)	Plain carbon (Mn 1.00% max)	43XX	Ni 1.82; Cr 0.50 and 0.80; Mo 0.25	50XXX	Cr 0.50
11XX	Resulfurized			51XXX	Cr 1.02
12XX	Resulfurized and rephosphorized	43BVXX	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 and 0.25; V 0.03 min	52XXX	Cr 1.45
15XX	Plain carbon (max Mn range—1.00 to 1.65%)	47XX	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 and 0.35		Chromium-Vanadium Steels
	Manganese Steels	81XX	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12	61XX	Cr 0.60, 0.80, and 0.95; V 0.10 and 0.15 min
13XX	Mn 1.75	86XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20		Tungsten-Chromium Steel
	Nickel Steels	87XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25	72XX	W 1.75; Cr 0.75
23XX	Ni 3.30	88XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35		Silicon-Manganese Steels
25XX	Ni 5.00	93XX	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12	92XX	Si 1.40 and 2.00; Mn 0.65, 0.82, and 0.85; Cr 0.00 and 0.65
	Nickel-Chromium Steels	94XX	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12		High-Strength Low-Alloy Steels
31XX	Ni 1.25; Cr 0.65 and 0.80	97XX	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20	9XX	Various SAE grades
32XX	Ni 1.75; Cr 1.07	98XX	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25		Boron Steels
33XX	Ni 3.50; Cr 1.50 and 1.57			XXBXX	B denotes boron steel
34XX	Ni 3.00; Cr 0.77	46XX	Ni 0.85 and 1.82; Mo 0.20 and 0.25		Leaded Steels
	Molybdenum Steels	48XX	Ni 3.50; Mo 0.25	XXLXX	L denotes leaded steel
40XX	Mo 0.20 and 0.25		Chromium Steels		
44XX	Mo 0.40 and 0.52	50XX	Cr 0.27, 0.40, 0.50, and 0.65		
	Chromium-Molybdenum Steels	51XX	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00, and 1.05		
41XX	Cr 0.50, 0.80, and 0.95; Mo 0.12, 0.20, 0.25, and 0.30				

Source: *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 1, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1978.^a XX or XXX in the last two or three digits of these designations indicates that the carbon content (in hundredths of a weight percent) is to be inverted.^b All alloy contents are expressed in weight percent.**ISO (International Organization for Standardization)**

Bu sistemde çelikler çekme dayanımı, karbon oranı ya da alaşım elementlerinin oranına göre sınıflandırılırlar.

Örnek: Çeliğin çekme dayanımını esas alan gösterim.



MKE Kurumu Standartları

Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu, Amerikan standartlarına göre (Ç) işareti ile çelikleri göstermiştir. *MKE’de çelik standartlarının sembollerle ve renklerle gösterimleri şöyledir;*

- **Ç 1 0 1 6**
 Ç: Çelik
 1: Alaşım elementi, (sade karbonlu)
 0: Alaşım elementinin % ‘de mik. (alaşımsız)
 16: Karbon miktarı (%0.16)
- **Ç 5 8 3 6**
 Ç: Çelik
 5: Kromlu çelik
 36: Karbon miktarı(%0,36)

1	Karbonlu Çelikler
2	Nikelli Çelikler
3	Nikel+Kromlu Çelikler
4	Molibdenli Çelikler
5	Kromlu Çelikler
6	Krom+Vanadyumlu çelikler
7	Volframli Çelikler
8	Mangan+Silisyumlu Çelik
9	Silisyumlu Çelik



Çelik Türü	Tanıtım Rengi
Ç 1020	Kırmızı
Ç 1030	Yeşil
Ç 1040	Beyaz
Ç 1050	Mavi
Ç 1060	Sarı
Ç 1090	Turuncu
Ç 1120	Sarı-Kırmızı
Ç 1350	Mavi-Kırmızı
Ç 4130	Siyah-Beyaz

11.3.3. Yüksek alaşımlı bazı çelikler ve standartları

Paslanmaz çelikler

Bu eliklerde, çeliği korozyona karşı koruyan yegane element krom'dur. İlave olarak Ni katılır. Krom oksijenle Cr_2O_3 yapar, bu tabaka metali korozyondan korur.

X 10Cr 13 (% 0,10 karbon, % 13 Cr)

X 5CrNi 18 9 (%0,05 C, % 18 Cr, %9 Ni)



Yay elikleri

Yaya esneklik kazandırmak için içerisine Si katılan çeliklerdir.

55 Si 7 H

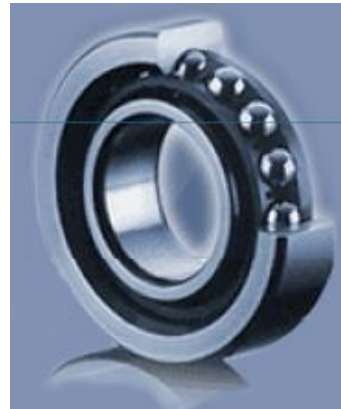
% 0,55 C, % Si (7/4=1,75) ve H , Hidrojeni alınmış anlamındadır.



Rulman elięi

100 Cr 6

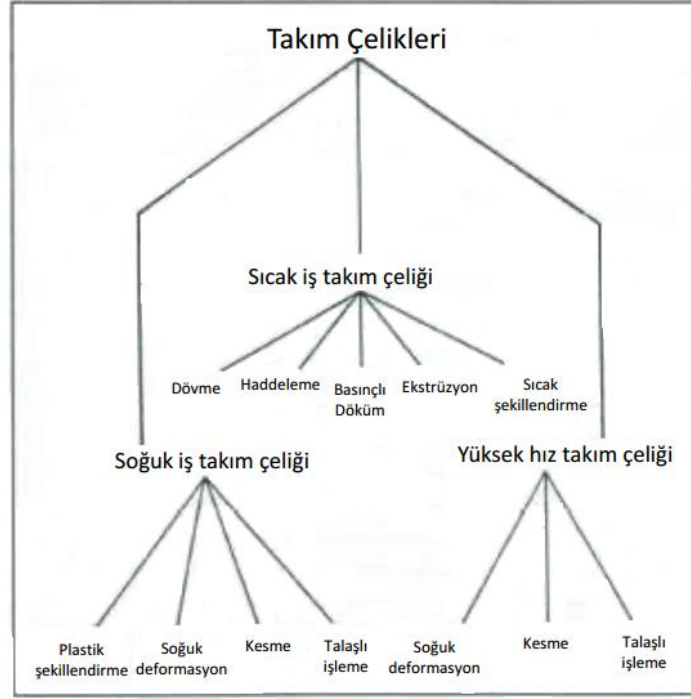
% 1 C,
% Cr (6/4=1,5)



Takım elikleri

Takım elięinin ana kuralı, iyi bir ısıl işlem geçirmeyen hiçbir elik, takım çeliği olarak kullanılamaz. Takım elikleri 4 ana gruba ayrılır;

- 1-Soğuk iş Takım Çelikleri
- 2-Sıcak iş Takım Çelikleri
- 3-Plastik Takım Çelikleri
- 4-Yüksek hız Çelikleri



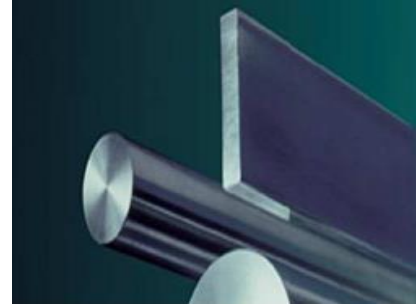
1-Soğuk iş Takım Çelikleri

X 210Cr 12
(% 2,1 C, % 12 Cr)



2-Sıcak iş Takım Çelikleri

X 30 WCrV 9 3
(% 0,30 C , %9 W, %3V)



3- Plastik takım çelikleri

40 Cr MnMo 8 5

(% 0,40 C, %2 Cr, %1,25 Mn)



4-Yüksek hız çelikleri

Bu çelikler önlerine sadece HS ibaresi getirilerek kullanılırlar, wolfram ve kobalt içerirler. Yüksek hızlarda parça işlemlerde kullanılırlar. HS0-4-1 Bu ibarenin karşısına kimyasal kompozisyon yazılır. HS1-4-2 ... gibi.



HS 6-5-2 : universal kullanım için standart takım malzemesidir.

HS 6-5-2-5 : yüksek ısıya karşı sertliği koruma, yetersiz soğutma veya yüksek sıcaklıklarda özellikle uygundur.

Bu Bölümde Kullanılan Kaynaklar

Demir Çelik Üretimi Ders Notları, U.Şen, Ş.Yılmaz, 2012.
<http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt422-02.pdf>