



DEMİR DIŞI METAL VE ATIK ENDÜSTRİSİNDE

Muhlis Nezih SARİDEDE¹ ve Burak BİROL²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi,
Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü Davutpaőa/İstanbul.
Tel: (0212) 338 46 85 E-posta: saridede@yildiz.edu.tr

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Beşiktaş/İstanbul.
Tel: (0212) 338 46 91 E-posta: burak.biol@gmail.com

SİKLON REAKTÖRLERİ

m a k a l e

ÖZET

Siklonlar, silindirik veya konik bir kap içerisinde yüksek hızda dönen gazlardan merkezkaç kuvveti etkisiyle partiküllerin ayrıldığı toplama sistemlerinin genel adıdır. Metalurji sektöründe çoğunlukla toz toplayıcı olarak kullanılan siklonlar, son zamanlarda yeni geliştirilen yöntemlerle ergitme işlemini de içine alarak demir dışı metal ve atık endüstrisinde kullanılmak üzere yerini almıştır. Endüstriyel olarak kullanılabilirliğini kanıtlamış en önemli siklon reaktörleri;

CONTOP (Sürekli Tepeden Beslemeli Oksijen Prosesi)

KIVCET

FCR (Alevli Siklon Reaktörü)'dür

Siklon fırınları, demir dışı metal ve atık endüstrisinin yanında; kömürlerin yakılması, katıların camlaştırılması, curuf tozlaştırma, fosfatın hidrotermal işlenmesi, demir cevherinin ergitilmesi gibi farklı kullanım alanlarına da sahip olduğu için metalurji sektöründe önemini gün geçtikçe arttırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Siklon Reaktörleri, CONTOP, KIVCET, FCR

1. GİRİŐ

Siklonlar, içerisinde gazların spiral bir şekilde geniş üst kısımdan başlayıp alt dar kısma duvarlara çarparak gittiği ve en alt kısımdan konik yapının ortasından düz bir akımla yukarı çıkararak cihazdan çıktığı bir sistemden oluşmaktadır. Bu sistemde gazların taşıdığı büyük veya yüksek yoğunluğa sahip partiküller duvarlara çarparak gazdan ayrılır ve aşağı doğru düşerek sistemden alınırlar. Gazlar siklondan aşağı indikçe duvarın çapı azaldığı için ayrılan partiküllerin boyutları da aşağı inildikçe azalmaktadır.

Geniş bir kullanım alanına sahip olan siklonlar,

endüstride çoğunlukla çimento endüstrisinde fırın ön ısıtıcılarının bir parçası olarak, kereste fabrikalarında çıkan havadan talaşı ayırmak, rafinerilerde yağları gazlardan ayırmak veya metalurjik uygulamalarda baca gazını temizlemek için kullanılırken; küçük boyutluları ise havadaki partikülleri analiz amacıyla ayırmak için kullanılır. Ayrıca sıvılardan partikül veya katıları ayırmak için kullanılan benzer cihazlara da hidrosiklon adı verilir ve atık sulardan katı atıkları ayırmak için kullanılmaktadır. (3, 5)

Son zamanlarda siklon teknolojisi, yüksek sıcaklık uygulamalarında da kullanılabilirliğini kanıtlamıştır. Şarj maddesinin siklon içerisinde ergitilmesiyle demir dışı metal üretimi ve atıkların işlenmesi ile geri dönüşümünü sağlamak amacıyla sanayi boyutunda uygulanmaya başlanmıştır. (3)

2. ENDÜSTRİYEL SİKLON REAKTÖRLERİ

2.1 CONTOP (Sürekli Tepeden Beslemeli Oksijen Prosesi - Continuous Top Feed Oxygen Process)

CONTOP prosesi, bir siklonda yüksek yoğunluklu ergitme ardından tepeden üfleli bir jetle ergiyik fazların ikincil işlenmesini kapsar. Bu proses, son derece yüksek reaksiyon hızına sahip sürekli bir prosestir. (4)

Uygunluğu kanıtlamış CONTOP teknolojisi, yirmi yıldan uzun bir süredir özellikle demir dışı metal endüstrisinde uygulama alanı bulmuştur ve çinkoca zengin çelikhane tozları yanında kıyılmış otomotiv artıkları ile diğer atıkların işlenmesi ve geri dönüşümü için uygulanmaktadır. (2)

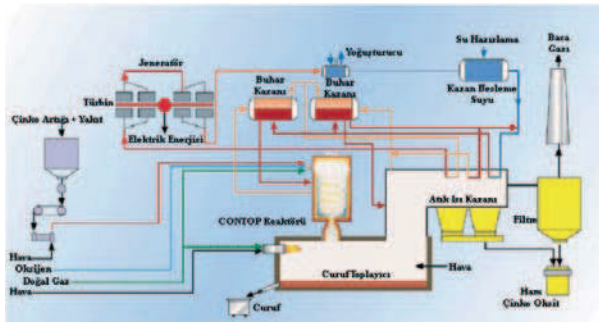
CONTOP prosesi, ilk olarak Alman KHD Humboldt Wedag AG firması tarafından geliştirilip demir dışı metalurji endüstrisine sunulmuştur. Bugüne kadar en büyük iki CONTOP ergitme siklonu, ASARCO firması için kurulmuştur. Bunların her biri 32 t/saat karışık bakır konsantresi işleme kapasitesine sahiptir.



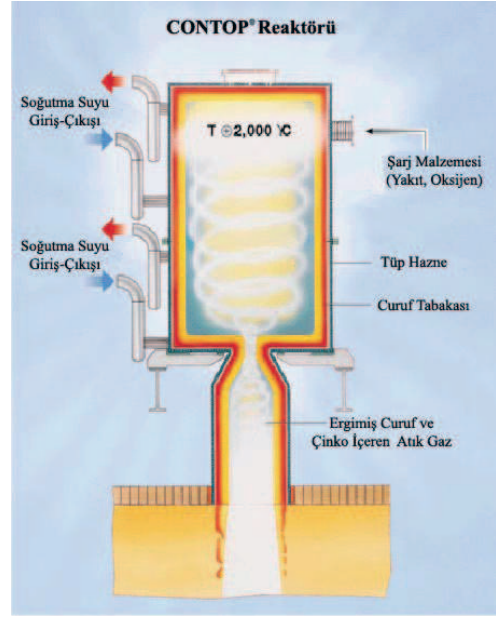
1998 yılında VOEST-ALPINE Industrieranlagenbau (VAI) şirketi, CONTOP teknolojisinin tüm know-how haklarını satın almıştır. (2,4)

CONTOP prosesinde pnömatik olarak taşınan şarj harmanı, dikey, su soğutmalı, ağır şartlara uygun ergitme reaktörüne katı yakıt ve oksijenle birlikte teğetsel olarak enjekte edilir. Oksijen ve maddelerin yüksek akış yoğunlukları, yüksek sıcaklıklarda (1800-2000°C) optimum reaksiyon kinetiğini sağlamaktadır. Üretilen ergiyik damlacıklar savurmalı olarak siklon duvarına fırlatılırlar ve burada başlangıçta oluşan curuf, kendiliğinden koruyucu bir refrakter tabakası oluşturur. Ergiyik curuf, muntazaman siklon çıkışına doğru akar ve buradan da çinko içeren gazla birlikte sistemin dışına çıkar. Gazın şiddetli girdap hareketinden dolayı, şarj malzemesinin ancak %2-3'ü gibi düşük bir kısmı taşınmaktadır. Gaz ergimiş curuftan ayrıldıktan sonra, CO ve gaz haldeki çinkonun tamamen oksitlenmesi için, çıkan gazlar havayla tamamen yakılır. Ham çinko oksit, aşağı akımlı bir filtre ünitesinden toplandıktan sonra, çinko üreticilerine satılır. Çevre dostu curuf ise yol inşaatlarında çeşitli amaçlar için kullanılabilir. (1)

CONTOP siklonundan ve atık gaz soğutma sisteminden gelen fazla ısı, buhar üretiminde kullanılır, elde edilen bu buhar da etkili bir şekilde türbinde elektrik üretimi veya proses buharı olarak kullanılabilir. (1) Şekil 1'de CONTOP proselinin akım şeması ve Şekil 2'de CONTOP reaktörünün ayrıntıları görülmektedir.



Şekil 1. CONTOP Prosesinin Akım Şeması.(1)



Şekil 2 CONTOP Reaktörü (1)

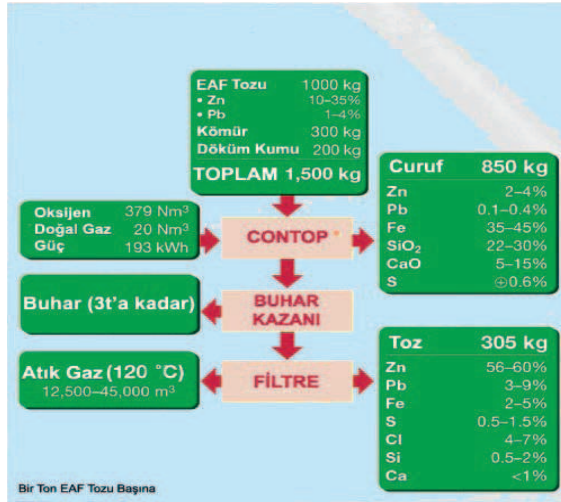
CONTOP prosesinde kullanılabilir şarj maddeleri şunlardır:

- Zararlı atıklar (örneğin, EAF tozu, kentsel atık yakıcılarından çıkan uçucu küller)
- Piro ve hidrometalurjik çinko üretiminden çıkan artıklar
- Hafif otomotiv hurdası
- Kıyılmış kauçuk
- Kanalizasyon çamuru
- Kaya yünü
- Sülfürlü demir dışı konsantreler (bakır, kurşun, antimuan, molibden, kalay)
- Mine
- Alümina üretiminden gelen kullanılmış astar
- Curuflar (1)

CONTOP üniteleri, EAF çelik üretiminde büyük bir problem olan çinkolu toz ve çamurların işlenebilmesi için 5.000 ile 100.000 t/yıl'dan daha yüksek kapasiteli dizayn edilebilirler. (1)

Harzer Zink GmbH (HZG), Goslar/Almanya şirketinde EAF çelik üretiminden ve kupol fırınından gelen çinko içeren tozlar ve çamurlar 100 t/gün

kapasiteli bir CONTOP reaktöründe işlenerek ham ZnO (%58-60 Zn) üretilmekte ve çinko endüstrisine satılmaktadır. Proses curufu sulu ortamda çözünmemeye kriterine uymakta ve liman inşasında kullanılmak üzere satılmaktadır. Prosesten çıkan fazla ısı ise yaklaşık 1 MW elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. 1000 kg'lık EAF tozunun işlenmesi için kullanılan hammaddeler, ürünler ve spesifik tüketimler Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. CONTOP prosesiyle EAF tozu işlenmesinde tipik tüketimler (1)

CONTOP prosesinde ek yakıt veya flaks malzemesi olarak çeşitli şarj maddeleri kullanılabilir. Örneğin, normalde atılan döküm kumu, silika flaksın yerine ergitme siklonuna beslenebilir. Kanalizasyon çamurları gibi karbon içeren atıklar, kıyılmış otomotiv hurdaları ve kauçuk da yakıt olarak kullanılabilir.

(2) CONTOP prosesinin yararları şunlardır:

- Çok çeşitli maddelerin kanıtlanmış ve etkili bir şekilde işlenmesi
- Ürün kalitesi değişmeksizin esnek çalışma hızları
- Kolay ve hızlı çalıştırma ve kapatılabilme
- Tüm dioksinlerin termal parçalanması
- Faydalı yan ürün eldesi (çinko oksit, inşaat endüstrisi için curuflar, buhar)
- İsteğe bağlı elektrik üretimi
- Az personel gereksinimi (1)

2.2 KIVCET Prosesi

KIVCET, oksijen-flaş-siklon-elektrotermik prosesinin Rusça kısaltılmasıdır. (6) Ellili yılların ortasında SSCB'nde bakır konsantrelerinden mat üretiminde ergitme işlemleri için siklon reaktör kullanımı testleri başlamıştır.(7) 1967 yılında KIVCET teknolojisinin tasarımı Kazakistan'da geliştirilmiştir. KIVCET prosesi ilk olarak bakır-kurşun sülfür, kurşun ve çinko hammaddelerinin işlenmesi için geliştirilmiştir (11). Bu prosesle, bir reaksiyon şaftında kurşun hammaddelerinin flaş ergitmesi için ticari saflıktaki oksijenin kullanımı mümkün olmuştur. Ayrıca bağlı bir elektrik fırını da üretilen curufun çöktürülmesi ve temizlenmesi için kullanılmıştır. (8) (9)

1997 yılında Kanada'da kurulan Trail kurşun tesisi, KIVCET teknolojisi ile, %75 karışık kompozisyonlu cevher, % 25 oksitli hammadde içeren şarj kullanarak yılda 120.000 ton kurşun üretmektedir. (11)

Tablo 1. VNIItsvetmet lisansı ile kurulmuş KIVCET-prosesi kullanan tesisler (11)

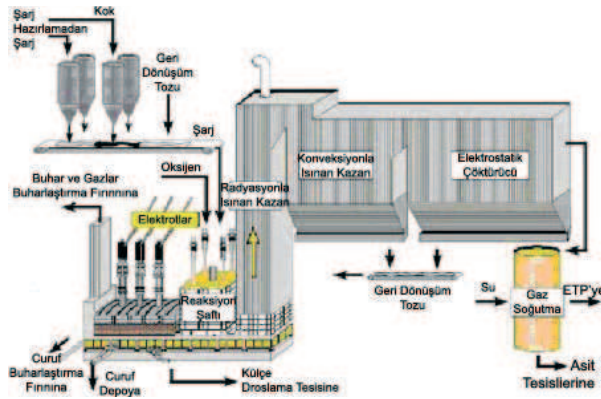
Yıl	Yer	Tesis Kapasitesi
1971	Kazakistan, Glubokoe	15.000 t bakır/yıl
1984	Bolivya, Potosi	25.000 t kurşun/yıl
1985	Kazakistan, Ust-Kamenogorsk	47.000 t kurşun/yıl
1986	İtalya, Porto-Vesme	100.000 t kurşun/yıl
1997	İtalya, Portovesme	100.000 t kurşun/yıl

Geçen on yıl süresinde KIVCET teknolojisi, karışık kompozisyonlu cevher (kurşun-gümüş, kurşun-bakır-çinko konsantreleri) ve oksitli atıklar (Örneğin, çinko külü liçinden ve çinko konsantrelerinin yüksek basınç işleminden gelen kekler, jarosit ve götit proses kekleri, konverter tozları ve diğer proses atıkları) için geliştirilmiştir.

Ergitme için şarj karışımı şunlardan oluşur; flaks olarak silika ve kireç taşı; kurşun konsantresi; demir, çinko ve kurşunca zengin çinko tesis artıkları; geri dönüştürülmüş atık piller; yakıt olarak ince, kuru kömür ve orta büyüklükte kok (5-15 mm.). Kok proses kimyasının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. (10)

Kurşun içeren hammaddelerin işlenmesi için kullanılan KIVCET prosesi, pulverize hammadde kullanarak kavurma ve ergitme teknolojilerini tek bir üniteye toplama esası üzerine kurulmuştur. Bu işlemde oksijen ve elektroergitme sürekli olarak kullanılmaktadır (11) KIVCET firmı çoğunlukla “flaş” ergitici olarak tanımlanır çünkü kuru kurşun konsantresi içerisindeki kükürt ve ince kömür hızlı bir şekilde yanarak %15’lik SO_2 gazı oluşturmaktadır.

(10)



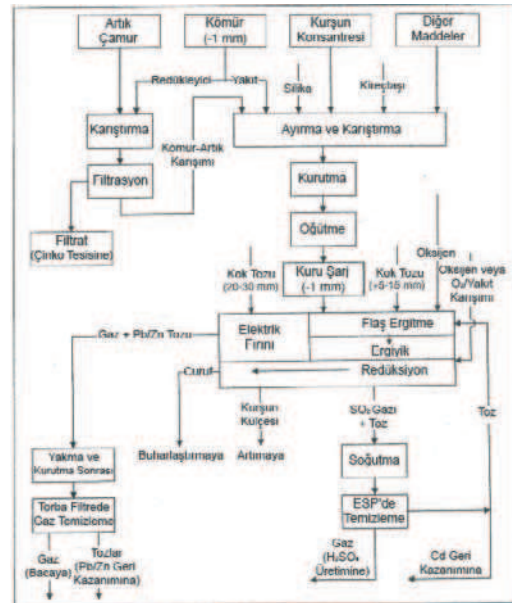
Şekil 4 KIVCET (10)

Reaksiyon şaftının tepesinden oksijenle birlikte kuru şarj beslenir. Reaksiyon şaftında, kurşun sülfür konsantresi içerisindeki kükürt ve ince kömür anında yanarak sıcak, konsantre kükürt dioksit gazı; kurşun, çinko, demir ve diğer metaller ise metal oksitleri oluşturmaktadır. Flaks maddeleri ve oksitler, fırının ilk bölümünde kaba kok ile aşağı düşen yarı-ergimiş curufu oluşturmaktadır. Kok, ergimiş curufun üzerinde yüzen bir tabaka oluşturmaktadır, bu tabakaya “coke checker” denir. Metal oksitler bu yanan kok tabakasından geçerken, redüklenirler ve kurşun külçe metali halinde toplanır. (10)

Külçe, coke checkerın altındaki ergimiş curuf tabakasından geçerek çökmeye devam eder. Çinko içeren demir curufuyla birlikte, külçe ayırıcı bir duvarın altından yeni bir bölmeğe geçer, bu bölüm elektrik fırınıdır. Bu ayırıcı duvar, ergiyik curufun içine kadar girmiştir, bu sayede sıcak kükürt dioksit gazını elektrik fırını bölmesi yerine atık ısı yakıcılara ve elektrotatik çöktürücülere gitmeye zorlar.

Daha büyük olan ikinci bölme; büyük grafit elektrotlardan sağlanan ısı ile külçe-curuf banyosunu sıvı halde tutan çöktürücü bir alan olarak görev yapar. Hafif olan curuf sürekli yüzeyde kalmakta, daha ağır külçe bölmenin dibine çökmektedir. Bu ayırım sayesinde külçe ve curuf fırından ayrı ayrı alınabilmektedir.

Curuf buharlaştırma fırınına ince kömür ve hava verilmektedir. Bu sayede daha yüksek ısı üretilir ve çinko buharlaşarak çinko oksit (ayrıca artık kurşun ve gümüş ile kadmiyum, indiyum ve germanyum içeren) buharı oluşur. Bu buhar toplanıp Oksit Liç Tesisi’nde işleme sokularak çinko, indiyum, germanyum ve kadmiyum geri kazanılmaktadır. Ergimiş curuf, içerisinde pratik sınır olan % 2 çinko içeriğine ulaşana kadar curuf buharlaştırma fırınında tutulmaktadır. Sonra bu curuf, akan su içerisinde dökülüp soğutulur, siyah kum benzeri bir curuf olarak katılaştırılır ve çeşitli çimento üreticilerine satılır. (10)



Şekil 5. KIVCET kurşun ergitme fırınının tipik akım şeması (8)

KIVCET fırınında üretilen külçe, gümüş, altın bizmut ve bakır içermektedir ve bunlar, kurşun pil üreticilerine satılmadan önce giderilmelidir. (10)

Ergitme şaftından yaklaşık $1200^{\circ}C$ 'de çıkan gaz soğutulur. $22.000 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'lik son hacme sahip temizlenmiş kükürt dioksit gazı doğrudan borular

aracılığıyla Sülfürik Asit Tesisine gönderilir.

KIVCET ergitici, ortamdaki partikülleri (duman) %90 ve metal emisyonlarını ise %70 ile 90 oranında azaltmaktadır. (10)

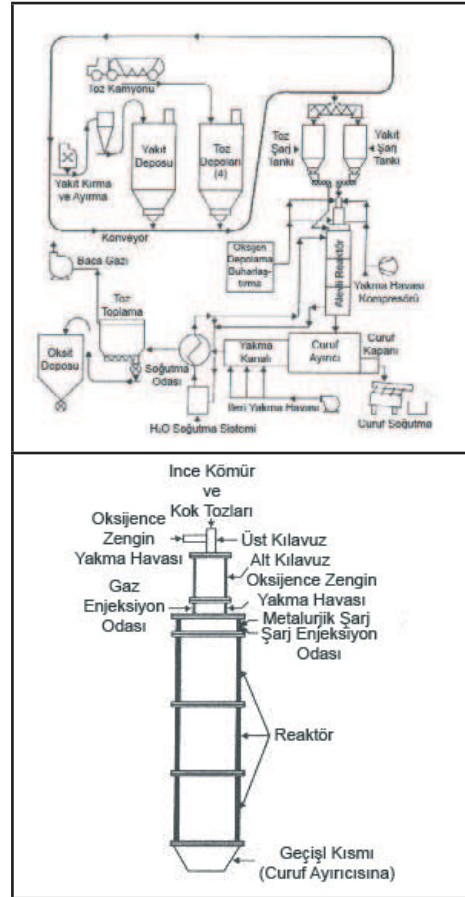
2.5 FCR (Alevli Siklon Reaktörü-Flame Cyclone Reactor)

Alevli siklon reaktörü, LURGI GmbH ve DEUTSCHE BABCOCK AG şirketleri tarafından çeşitli hammaddeler için denenmiş ve patenti alınmıştır. Proses esas olarak kompleks sülfürlü konsantrelerden bakırın ergitilmesi için geliştirilmiştir. Prosesin hedefleri ise ergitme ve arıtma kademelerinin ekonomisini, daha yüksek metal kazanım verimi sağlayarak iyileştirmek, enerji tüketimini azaltmak ve çevreci bir proses ortaya koymaktır. (12)

Siklon fırınının çalışma prensibi, toz toplayıcılara benzemektedir. Ön ısıtılmış hava yardımıyla siklona teğetsel olarak giren kömür, santrifüj kuvvetlerin etkisiyle dış duvarlara doğru fırlatılır. Bu durumda her ne kadar partiküller çarpışma noktasında ergimiş külden oluşan yapışkan bir film tarafından tutulmuş olsa da, hava ile kömür arasındaki artan göreceli hız, yakıtın daha hızlı yanmasını sağlar. Böylece, yüksek sıcaklık külü ergitir ve döküm deliğinden alınana kadar ergimiş halde tutar. (13)

İki kademeli flaş ergitme sistemine sahip olan alevli reaktör, oksitli metalurjik şarjlar, oksijence zenginleştirilmiş hava ve katı karbon esaslı yakıtlarla çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu teknoloji, EAF tozları, EPA listesindeki zararlı atıklar, çinko, kurşun ve kadmiyum ayırma ve geri kazanımı için yan ürün olarak zararlı olmayan curuf üretilerek başarıyla uygulanmaktadır. (14)

Alevli reaktör prosesinde (Şekil 6a ve b), yakma kademesi (yakıt yakma) ve reaktör kademesi (oksitlenmesi) olmak üzere iki kısımdan oluşan su ceketli reaktör potası kullanılmaktadır. (15)



Şekil 6 a) Alev reaktörünün şematik akış diyagramı. b) Reaktör/yakıcı konfigürasyonu. (15)

Yakma kısmında, katı veya gaz yakıtın şiddetli bir biçimde oksijence zengin havayla karıştırılıp yanması sağlanır. Yakıtça zengin karışım, 2.000°C'yi aşan alev sıcaklıklarında reaksiyona girerek yüksek sıcaklıkta redükleyici bir atmosfer oluşturur. Yakıt ve gazların miktarlarının tam olarak belirlenmesi, kararlı ve etkili bir işlem için çok önemlidir. (15)

Reaktör kısmında, ince, kuru metalurjik şarj, pnömatik olarak brülör çıkışının hemen altından sıcak redükleyici gazların içine enjekte edilir. Değerli metal oksitler (örneğin, çinko, kurşun ve kadmiyum), ortalama 1.600°C'lik reaktör sıcaklığında redüklenir, buharlaştırılır ve/veya ergitilir. Reaktör içerisinde gazın toplam kalma süresi 100 ile 500 milisaniye arasında değişmektedir. (15)

Reaktörde elde edilen ergiyik curuf, iç duvarlarda koruyucu bir tabaka oluşturacak şekilde katılır ve curuf ayırıcısına gider. Ayırıcı, reaktör gazlarından ile



curufu ayıran, refrakter astarlı, su soğutmali, yatay bir tamburdur. Ergiyik curuf sürekli alınarak ya dökülür ya da granüle edilir. (15)

Curuf içermeyen reaktör atık gazları, refrakter astarlı bir yakma odasında hava ve/veya oksijen ile yakılır. Metal buharları, katı partiküller olarak oksitlenirken, CO ve H₂ gibi yanıcı gazlar CO₂ ve H₂O oluşturmak üzere yanarlar. (15)

Bu iki aşamalı özel reaktör dizaynı, iki ana oksit ergitme reaksiyonunu birbirinden ayırır. İlk aşamada, ekzotermik karbon-oksijen reaksiyonları ikinci aşamada, endotermik metal oksit-karbon monoksit reaksiyonları oluşur.

Alevli Reaktör prosesi, demirli atıkların doğrudan işlenmesiyle ya da nötr liç artıklarını işlemek için asit liç devresi yerleştirilerek çevreyle uyumlu çalıştırılabilir. Ayrıca götiti esaslı elektrolitik çalışan elektrolitik çinko tesisinde çıkan götiti işlemek için kullanılabilir. Siklon fırınları, farklı kullanım alanlarına da sahiptir; kömürlerin yakılması, katıların camlaştırılması, curuf tozlaştırma, fosfatın hidrotermal işlenmesi, demir cevherinin ergitilmesi gibi. Sonuç olarak bu reaktörün, çok etkili, yüksek kapasiteli ve geniş çalışma koşullarında kullanılabilen kompakt bir reaktör olduğu söylenebilir. (16, 17, 18, 19, 20)

2.6 SONUÇLAR

Metalurji sektöründe yeni kullanım alanları bulan siklonlar, demir dışı metal ve atık endüstrisinde ergitme işlemini de içine alan uygulamalarla kendini göstermektedir. Endüstriyel kullanıma geçmiş en önemli siklon reaktörleri Contop, Kivcet ve FCR'dir.

CONTOP (Sürekli Tepeden Beslemeli Oksijen Prosesi): Demir dışı metal üretiminde kullanılmaya başlanan bu proses, daha sonra zararlı atıklar, piro ve hidrometalurjik çinko üretiminden çıkan artıklar, hafif otomotiv hurdası gibi bir çok atığın geri dönüştürülmesinde kullanılır hale gelmiştir. Siklonda

yüksek yoğunluklu ergitme ve tepeden üfleli bir jetle ergiyik fazların ikincil işlenmesini kapsayan, son derece yüksek reaksiyon hızına sahip sürekli bir prosestir.

KIVCET: İlk olarak bakır-kurşun sülfür, kurşun ve çinko hammaddelerinin işlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak zaman içerisinde karışık kompozisyonlu cevher ve oksitli atıklar bu prosesin hammaddesi olmuşlardır. KIVCET fırını "flaş" ergitici olarak tanımlanır ve bu işlemden oksijen ve elektroergitme sürekli olarak kullanılmaktadır.

FCR (Alevli Siklon Reaktörü): Proses esas olarak kompleks sülfürlü konsantrelerden bakırın ergitilmesi için geliştirilmiştir. Ancak bunun dışında demirli atıkların doğrudan işlenmesiyle ya da nötr liç artıklarını işlemek için asit liç devresi yerleştirilerek çevreyle uyumlu çalıştırılabilir. Ayrıca götiti işlemek için de kullanılabilir. Alevli reaktör prosesinde, yakma kademesi ve reaktör kademesi olmak üzere iki kısımdan oluşan su ceketli reaktör potası kullanılmaktadır.

Siklon reaktörlü prosesler, yüksek sıcaklık işlemleri için başarıyla kullanılmaktadır. Çok çeşitli hammaddelerin ekonomik ve yüksek verimle elde edilmesini hedefleyen bu prosesler, aynı zamanda çevreci prosesler olup zararlı olmayan yan ürünlerin eldesini de mümkün kılmaktadırlar.

REFERANSLAR

1. VOEST-ALPINE Industrieanlagenbau Brochure, "VAI Environmental Technology, CONTOP Recycling Technology, A Hole-in-One Solution for the Environment".
2. Fried Sauert, "CONTOP-A Cost-Effective Recycling Technology For the Steel and Automotive-Scrap Industry", VOEST-ALPINE Industrieanlagenbau GmbH & Co (VAI), Linz/Austria.
3. S. Ramachandra Rao, "Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes",



- Elsevier Boks**, Waste Management Series, vol. 7, First edition 2006.
4. "Contop puts early problems behind it?", MBM Metals Technology Supplement, June 1994, pp 23-25.
 5. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrocyclone>.
 6. "KIVCET Process for complex ores", World Mining, June 1974, pp. 26-27.
 7. Gerhard Melcher, Erich Muller and Horst Weigel, "The Kivcet Cyclone Smelting Process for Impure Copper Concentrates", JOM, July 1976, pp. 4-8.
 8. Y.I. Sannikov, M.A. Liamina, V.A. Shumskij, Y.A. Grinin and M.V. Radashin, "A Physical and Chemical Description of the Kivcet Lead Flash Smelting Process", CIM Bulletin, Vol.91. No.1022, July/August 1998, pp 76-81.
 9. Keith B. Murden and J.C. Taylor, "Kivcet Moves Further West", MBM Metals Technology Supplement, June 1994, pp. 15-17.
 10. Kivcet Flash Smelter, <http://www.metsoc.org/virtualtour/processes/zinc-lead/kivcet.asp>
 11. http://vcm.ukg.kz/eng/v3_6.htm
 12. G. Berndt, K. Emicke, "The flame cyclone reactor process (FCR)-a new development in non-ferrous oxygen smelting", Extraction Metallurgy Symposium, IMM, Sep. 1985, pp. 219-247.
 13. T.A.A. Quarm, "Copper smelting with a cyclone furnace", E/MJ, Oct. 1969, pp. 80-81.
 14. L.W. Lherbier Jr, C.O. Bounds, J.F. Pusateri, and J.P. Hager, "Flash Smelting Efficiency in the Flame Reactor Process", 1988 Center for Pyrometallurgy Conference, June 16-17, 1988, Salt Lake City, Utah, USA.
 15. J.F. Pusateri, C.O. Bounds, and L.W. Lherbier, "Zinc recovery via the flame reactor process", JOM, August 1988, pp. 31-35.
 16. Lixian Xu, Qing Tian, Zhiqing Wang, "Pretreatment of Gold Ore Contained S And As", China-Japan International Academic Symposium, Environmental Problem in Chinese Iron-Steelmaking Industries and Effective Technology Transfer, Sendai, Japan, 6 March 2000, pp. 94-104.
 17. http://www.outokumputechnology.com/pages/Page_10138.aspx
 18. M. Brittan, "Oxygen roasting of refractory gold ores", Mining Engineering, Feb. 1995, pp. 145-148.
 19. http://www.outokumpu.com/pages/Page_11190.aspx
 20. <http://www.vai.at/view.php3?id=289&LNG=EN>