REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

1. DENEYİN AMACI

Bu deneyde; elektroliz olayının öğrenilmesi, bakırın rafinasyon (saflaştırma) ve redüksiyon (geri kazanım) işlemlerinin öğrenilmesi ve çözeltiye alınmış bakır kullanılarak elektrolitik bakır elde edilmesi amaçlanmaktadır.

2. TEORİK BİLGİLER

Elektrometalurji

Cevher veya metal içeren her çeşit ham madde içindeki metalleri elektrik enerjisinden faydalanmak suretiyle üretmeye "Elektrometalürji" denmektedir. Gerçekte elektrometalurji, elektrokimyanın bir uygulamasıdır. Burada elektrokimya metodlarının metallere uygulanması yapılmaktadır.

Elektroliz

Elektrik akımının sulu veya eriyik elektrolitlerden geçirilmesiyle meydana gelen kimyasal ayrışma sonucu katodda metal iyonlarının ve anotta ise metalik olmayan iyonların serbest hale gelmesi olayıdır. İyonlar elektrotlarda deşarj edilerek; serbest hale geçirilebilir, element olarak toplanabilir ve elektrot ile reaksiyon yapabilir.

Elektrot : Elektrik akımını, sıvı, katı, gaz faza ileten iletken. Elektrokimyasal anlamda elektrot, elektrot iletkeni ile iyonik iletkeni birleştiren sistemdir.

Elektrolit : İçinde (+) ve (-) yüklü serbest iyonları bulunduran ortamlardır. Elektrolizde kullanılan elektrik akımını ileten sıvıdır. Erimiş tuzlar ve asit, baz, tuz çözeltileri elektrolit olarak kullanılır.

Elektroliz hücresi : Dışarıdan gerilim uygulanarak, elektriksel işin kimyasal işe dönüştürüldüğü hücrelerdir.

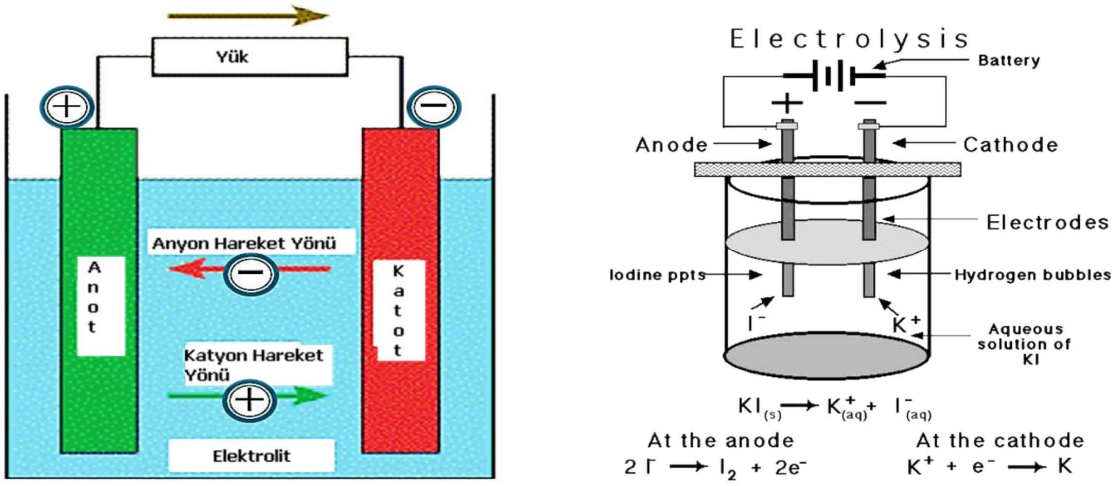
Üreteç: Dış devrede elektrik enerjisini sağlayan doğru akım kaynağıdır. Üretecin pozitif kutbuna bağlı elektrot anot, negatif kutbuna bağlı elektrot katottur.

Elektrolizde; katyonlar (+ yüklü iyonlar) indirgenerek katotta, anyonlar da (- yüklü iyonlar) yükseltgenerek anotta açığa çıkar. Elektroliz kabında birden fazla tür katyon varsa, ilk önce indirgenme eğilimi (potansiyeli) en büyük olan indirgenir. Daha sonra sırası ile indirgenme devam eder. Elektroliz kabında birden fazla cins anyon varsa, anotta ilk önce yükseltgenme eğilimi en büyük olan anyon toplanır. Aktifliği az olan anyon öncelikle anotta, aktifliği az olan katyon da öncelikle katotta açığa çıkar. Elektrolizde bileşikler elementlerine ayrıştırılabilir. Elektrokimyasal pile, pil geriliminden yüksek bir gerilim uygulanırsa, pil de gerçekleşen tepkime tersine döner. Elektroliz oluşur. Bu olaya pilin şarj edilmesi denir**.**

Elektroliz işlemi, elektroliz kabı ya da tankı denen bir hücre içinde uygulanır. Bu hücre, çözünerek artı ve eksi yüklü iyonlara ayrılmış bir bileşiğin içine daldırılmış iki elektrottan oluşur ve bu elektrotlar birbirine değmeyecek biçimde (genellikle iki elektrot arası 5-20 cm) ayarlanır. Elektroliz işleminin gerçekleştirilmesi için bu elektrotlar bir doğru akım kaynağına bağlanır ve elektrotlar arasında meydana gelen gerilim (elektrik alan), iyonları karşıt yüklü elektroda (kutup) doğru hareket ettirir.

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

Dolayısıyla, (+) yüklü iyonlar katoda giderken, (-) yüklü iyonlar anoda doğru akarlar. Karşıt kutupta yükünü dengeleyen atom veya moleküller elektrotta çökelir veya elektrolit içindeki moleküllerle yeni reaksiyonlara girer.



Şekil 1. Elektroliz Yöntemi

Endüstride bakırın (Cu) elektroliz işlemi iki amaçla kullanılır. Bunlardan biri, saf olmayan bakır metalini içindeki safsızlık oluşturan yabancı maddelerden arıtarak katot üzerinde toplamak amacıyla yapılan bakırın saflaştırılması işlemi; diğeri ise bakır metalini sulu çözeltilerden kazanmak için yapılan bakırın geri kazanımı işlemidir.

Elektrolizin Uygulama Alanları

Elektroliz işlemleri daha önce de bahsedildiği gibi, elektrolizle metalürji alanında, metallerin hazırlanmasında (çözünmez anot kullanılan yöntem-geri kazanım elektrolizi) ya da arıtılmasında (çözünür anot kullanılan yöntem-saflaştırma elektrolizi) kullanılır. Ayrıca, bir elektrolitik metal birikimiyle aşınmaya karşı korumada ve bir metal çökeltisiyle metallerin kaplanmasında (sözgelimi; nikel kaplama, çinko kaplama, kadmiyum kaplama, krom kaplama, gümüş ya da altın kaplama) kullanılan bir yöntemdir. Saf hidrojen de, özellikle, suyun elektroliziyle elde edilir. Uygulama alanları arasında, gaz üretimi (klor), metal üstünde koruyucu oksitli anot tabakalarının elde edilmesi (alüminyumun, alümina aracılığıyla anotlaştırılması işlemi) elektrolizle parlatma, metallerin katot ya da anot olarak yağlardan arındırılması sayılabilir. Elektroliz, akım şiddetlerinin, özellikle voltmetrelerdeki akım miktarlarının ölçülmesine de olanak verir. Sürekli akım yardımıyla, organik dokuların ayrıştırılmasına dayanan tedavi elektrolizi, cerrahide sinir uçlarının (nöronların), sertleşen urların, burun deliklerindeki poliplerin yok edilmesinde, üretra yada yemek borusu daralmalarının tedavisi gibi tıp uygulamalarında da kullanılmaktadır.

Bakırın Rafinasyon (Saflaştırma) Elektrolizi

Bakırın rafinasyon elektrolizi yeterli saflıkta rafine bakır elde edilmesini sağlayan bir elektroliz işlemi olup, bu işlem çözünebilir bakır anotlarla yapılmaktadır. Elektrolit olarak bakır sülfat (CuSO4) ve H_2SO_4 çözeltisi kullanılmaktadır. Çözelti içine daldırılan bakır elektrotlardan biri saf bakırken diğeri saf olmayan bakırdır. (+) yüklü anot olarak, yüksek sıcaklıklarda saflaştırma işlemiyle elde edilen (%98-99 saflıkta) bakır (blister bakır) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotlar bileşimlerinde

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

safsızlık olarak, O, S, Au, Ag, Pt ve çeşitli miktarlarda As, Sb, Bi, Sn, Se, Te, Pb, Zn, Fe bulundurmaktadır. (-) yüklü katot olarak ise, üzerine elektrolitik bakır kaplanmış titan levhalar veya yapışmayı önlemek için üzeri yağ ile sıvanmış bakır levhalar (%99,5 saflıkta) kullanılır. Elektronlar, elektrolit dışında anottan katoda doğru akarken; elektrolit içinde katottan anoda doğru akarlar. Uygun şartlarda anot oksitlenerek çözeltiye geçer ve katotta indirgenir. Anottaki diğer safsızlıkların bir kısmı çözünmeyerek, anottan kopup hücrenin alt kısmında toplanırlar. Bu artık malzemeye "**anot çamuru**" denir. Bazı safsızlıklar ise çözünerek elektrolite geçer. Anot ve katot aynı bileşimde olduğu için ayrışma voltajı teorik olarak sıfırdır ve hücre voltajı elektrolit direncinin biraz üzerinde bir değerdedir.

Elektrolitik rafinasyon uygulaması iki nedenle yapılır. Temel amaç iletkenliğin azalmasına neden olan empüritelerden arınmakken, rafinasyon işlemi sırasında anot çamuruna geçen soy metal ve yarı metalik metaller(Se,Te) rafineside maliyeti karşıladıklarından işletmeye artı değer kazandırır.

Anot ve katot arasına akım uygulandığında $CuSO_4$-H_2SO_4–H_2O türü elektrolitte şunlar gerçekleşir:

Klasik bakır saflaştırma elektrolizinin çalışma koşulları 0.2-0.35 V hücre voltajı şeklindedir. Elektroliz şartları aşağıda verildiği gibidir:

- Elektrolitte 35-50 g/l Cu ve 140-220 g/l H_2SO_4

- Sıcaklık 50-65 ºC

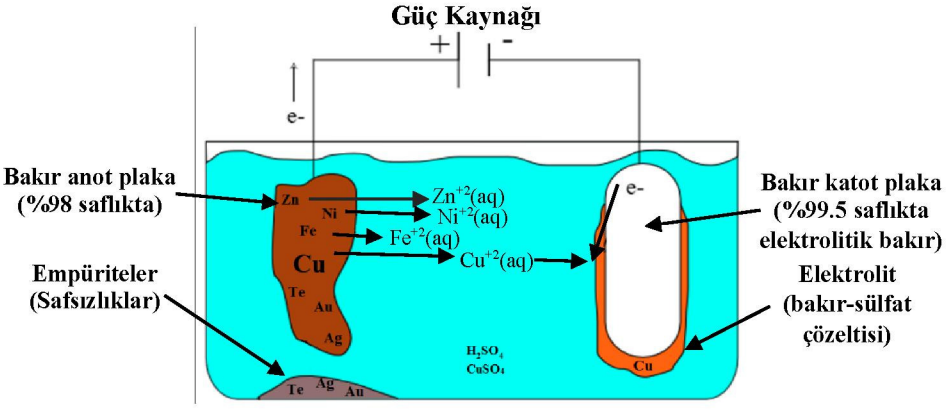
- Katot akım yoğunluğu 150-250 A/m^2 (15-25 mA/cm^2)

Bakırın saflaştırılması elektrolizinde meydana gelen reaksiyonlar;

Anot reaksiyonu: $Cu^0 \rightarrow Cu^{+2} + 2e^-$ (Burada bakır, anodik oksidasyon sonucu Cu^{+2} iyonları halinde çözünür.)

Çözünmüş olan (+) yüklü bakır iyonları (Cu^{+2}) katot yüzeyine ulaşır.

Katot reaksiyonu: $Cu^{+2} + 2e^- \rightarrow Cu^0$ (Burada Cu^{+2} bakır iyonları, anottan iletilmiş olan elektronlarla tekrar birleşerek metal durumuna indirgenirler.)



Şekil 2. Bakırın saflaştırma elektrolizi

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

Bu seçeneklerden bakır rafinasyon elektrolizinde enerji tüketimi olmadığı görülür. Ancak anodik ve katodik reaksiyonlar kinetik engelli olduğundan fazla voltajların uygulanması gerekir ve bağlantı yerlerindeki dirençlerden dolayı voltaj düşüşü de göz önüne alınmalıdır.

Bakırın Redüksiyon (İndirgenme) Elektrolizi

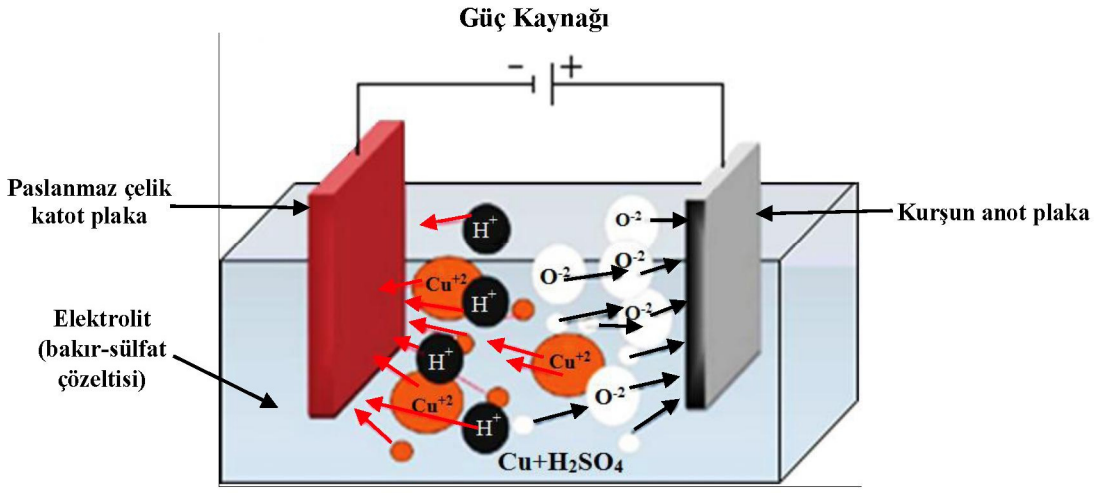
Bakırın geri kazanım elektrolizi, çözeltilerden bakır elde edilmesini sağlayan bir elektroliz işlemi olup, bu işlem sırasında çözünmeyen anot ve katot elektrotlar kullanılmaktadır. Anot olarak genellikle %4-6 Sb içeren sert kurşun alaşımı kullanılırken, katot olarak paslanmaz çelik ve son zamanlarda titan levhalar kullanılmaktadır. İndirgenme işlemi için, 40-60 $^{\circ}$C sıcaklık ve 70-150 A/m^2 akım yoğunluk değeri seçilir. Elektroliz sırasında çözeltide bulunan (-) yüklü iyonlar anoda, (+) yüklü iyonlar katoda gider. Anyonlar anot yüzeyinde oksitlenirken, katyonlar katot yüzeyinde indirgenirler. Termodinamik olarak bakır indirgenme elektrolizi 0,89 V'ta gerçekleşir.

Bakırın redüksiyon elektrolizi sırasında gerçekleşen reaksiyonlar;

$CuSO_4 + H_2O \rightarrow Cu + H_2SO_4 + ½O_2$

Anot reaksiyonu: $SO_4^{-2} + H^+ + 2e^- \rightarrow H_2SO_4 + ½O_2$

Katot reaksiyonu: $Cu^2 + 2e^- \rightarrow Cu^0$



Şekil 3. Bakırın geri kazanım elektrolizi

Bakırın saflaştırma ve geri kazanım elektrolizleri arasındaki farklardan biri, 'katot' reaksiyonlarının aynı olmasına rağmen 'anot' reaksiyonlarının farklı olmasıdır. Ayrıca bakırın saflaştırılması elektrolizinde, anottan çözünen metal iyonları katotta indirgenirken; bakırın geri kazanım elektrolizinde, (çözünmeyen %4-6 Sb içeren kurşun alaşımı kullanıldığı için) anot reaksiyonu elektrolit içerisinde bulunan bir anyon veya molekülün oksidasyonu ile gerçekleşir.

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Metalurji Laboratuvarı Deney Föyü

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

Elektroliz Şartları ve Katkı Maddeleri

Parametereler	**Koşullar**
Elektrolitteki bakır derişimi	35-50 gr/l
Elektrolitteki H_2SO_4 derişimi	140-220 gr/l
Sıcaklık	50-65 ºC
Katot akım yoğunluğu	150-250 A/m^2
Hücre voltajı	0,2-0,35 V
Sirkülasyon hızı	0,02 m^3/dak.
Kolloidler	
Jelatin	0,0001-0,001 kg/m^3
Thiourea	0,0001-0,001 kg/m^3
HCl veya NaCl	0,035 kg/m^3

Tablo 1. Elektroliz şartları ve katkı maddeleri

Kolloid homojen bir karışımdır. Bu homojen karışım içersinde jelâtin ve thiourea içerir. Jelatin, bakırın katot yüzeyine homojen ve düzgün bir şekilde bağlanmasını sağlar ve ince kristalli sert bir bakır yapısı oluştur. Jelatinin yan etkilerini ortadan kaldırmak için ise thiourea kullanılır. Thioureanın diğer bir görevi de katot yüzeyindeki sivri uçları ve çukurları izole eder. Diğer bir katkı maddesi olan mersolat, antioksidan görev görür ve katot yüzeyindeki sülfatlanmayı geciktirir. HCl'nin homojen karışım içine katılmasının maksadı ise elektrolit içindeki gümüş iyonlarını (Ag^+) , gümüş klorür (AgCl) halinde çökelmesini sağlamaktır.

Hesaplamalar

Bir elektroliz devresinde, 't' zaman boyunca 'I' akımının geçmesiyle işlem sonunda teorik olarak **elde edilmesi gereken ürün miktarı** Faraday eşitliği ile hesaplanır:

$$\mathbf{M_T = (I \,.\, t \,.\, M_a) / (Z \,.\, F)} \quad * ;$$

Bu eşitlikte,

M_T = Elde edilen (katotta biriken) ürün miktarını,

I = Devreden geçirilen akım şiddetini (A),

t = Zamanı (sn),

M_a = Katotta biriken maddenin atom ağırlığını (Cu için : 63 gr/mol),

Z = Katotta biriken maddenin bileşikteki değerliğini (Cu için : 2),

F = Faraday sabitini ifade etmektedir (96500 Coulomb).

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Metalurji Laboratuvarı Deney Föyü

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

Elektroliz işlemlerinde akım yoğunluğu, devreden geçen akımın elektrolit içine daldırılan katot elektrodunun elektrot içine batan alanına oranı ile hesaplanmaktadır:

$$\textbf{\textit{Katot Akım Yoğunluğu}} = \left(\frac{\textbf{\textit{Devreden Geçen Akım }}(A)}{\textbf{\textit{Katodun Elektrolite Dalan Kısmının Alanı }}(m^2)}\right)$$

Deneyler sırasında devreden geçen akımın bir kısmı dirençleri yenmek için kullanıldığından, elektrolizle elde edilen ürün teorik üründen daha az olmaktadır. Elde edilen ürünün (M_g) teorik ürüne (M_T) oranının 100 ile çarpılması sonucunda ise ** **$\beta = [(M_G / M_T)\times 100]$**, **% akım randımanı (verimi)** elde edilmektedir. Katotta toplanan veya anottan ayrılan madde miktarı Faraday eşitliği ile hesaplanan teorik değere eşit ise akım verimi %100, eşit değil ise %100'ün altında olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, **$[(M_T-M_G)/M_T)\times 100]$** işleminin sonucunda çıkan değer ise **deneysel % hata payını** vermektedir**.**

Örnek Çalışma;

a-Rafinasyon Elektrolizi

Deneye başlamadan önce Tablo 1'deki verileri kullanarak elektrolit sıvısı hazırlandı. Hazırlanan elektrolit behere konuldu. Daha sonra katot levhası alkolle temizlenip kurutuldu ve hassas terazide ağırlığı ölçüldü. Hazırlanan elektrolitin sıcaklığı 65 ^{0}C'ye çıkartıldı ve bu sırada manyetik karıştırıcı çalıştırıldı. Katot levhasının elektrolit içindeki yüzey alanı ölçülerek akım yoğunluğu hesaplandı. Hazırlanan anot ve katot levhalar güç kaynağına bağlanarak hesaplanan akım yoğunluğuna uygun akım verildi. Elektroliz işlemi 15 dakika sürdükten sonra güç kaynağı tam zamanında kapatıldı. Katot plakası elektrolitten çıkartılarak alkolle temizlenip kurulandı ve son ağırlığı hassas terazide ölçüldü. Daha sonra deney süresince elde edilecek teorik bakır miktarı (*) denklemi kullanılarak hesaplandı. Elektroliz verimi hesaplamak için (**) denklemi kullanılarak akım randımanı hesaplandı.

Katot levhanın ilk ağırlığı	***61,7583 g***
Katot levhanın son ağırlığı	***62,0671 g***
Biriken bakır miktarı	***0,3088 g***
Bakırın atom ağırlığı **(A)**	***63,54 g/mol***
Bakırın valans sayısı **(z)**	***2***
Faraday sabiti **(F)**	***96500***
Elektroliz süresi **(t)**	***900 sn***

$$Katot\ alanı = 80 \times 65 = 5200\ mm^2 = 0{,}0052\ m^2$$

$$Katot\ akım\ yoğunluğu = \frac{1{,}05}{0{,}0052} = 201{,}92\ A.m^{-2}$$

$$M_T = \frac{63{,}54\ .1{,}05\ .900}{2\ .96500} = 0{,}3111\ g$$

$$\beta = \frac{0{,}3088}{0{,}3111} \times 100 = \%\ 99{,}20$$

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

b-Redüksiyon Elektrolizi

Rafinasyon elektrolizinde kullanılan elektrolit redüksiyon elektrolizinde kullanıldı. Anot plakası olarak kurşun, katot plakası olarak da çelik levha kullanıldı. Katot plakası alkolle temizlenip kurulandıktan sonra hassas terazide ağırlığı ölçüldü. Daha sonra elektrolit içinde kalacak kısmın yüzey boyutları ölçüldü ve anot pozitif, katot negatif olacak şekilde güç kaynağına bağlandı. Rafinasyon elektrolizine uygulanan akım sabit tutularak voltaj artırıldı. Elektroliz işlemi 15 dakika sürdükten sonra güç kaynağı tam zamanında kapatıldı. Katot plakası çıkartılarak yine alkolle temizlenip kurutulduktan sonra son ağırlığı tartıldı. Daha sonra elektroliz süresince toplanması gereken bakır miktarı (*) denklemine göre hesaplandı. Elektroliz verimi hesaplamak için (**) denklemi kullanılarak akım randımanı hesaplandı.

Katot levhanın ilk ağırlığı	***92,59316 g***
Katot levhanın son ağırlığı	***92,9137 g***
Biriken bakır miktarı	***0,3205 g***
Bakırın atom ağırlığı **(A)**	***63,54 g/mol***
Bakırın valans sayısı **(z)**	***2***
Faraday sabiti **(F)**	***96500***
Elektroliz süresi **(t)**	***900 sn***

$$Katot\ alanı = 80 \times 65 = 5200\ mm^2 = 0{,}0052\ m^2$$

$$Katot\ akım\ yoğunluğu = \frac{1{,}05}{0{,}0052} = 201{,}92\ A.m^{-2}$$

$$M_T = \frac{63{,}54\ .1{,}05\ .900}{2\ .96500} = 0{,}3111\ g$$

$$\beta = \frac{0{,}3205}{0{,}3111} \times 100 = \%\ 103{,}02$$

c-Örnek Yorumlama

Rafinasyon elektrolizi sonucu elde ettiğimiz verim (%99,2) deneyin doğru bir şekilde yapıldığını gösterdi. Ancak redüksiyon elektrolizinde teorik olarak toplanması gereken miktardan daha fazla miktar bakır toplanmıştır. Bunun nedenleri: akım yoğunluğunun tam ayarlanamaması ya da anot ve katot plakalarının bir birine olması gerenden daha yakın olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Rafinasyon elektrolizinde kazılan bakır, ateşle rafine edilmiş %98-99 saflıktaki anot plakanın çözünmesiyle elde edilmiştir. Buna karşılık indirgenme yani redüksiyon elektrolizinde ise elektrolit içindeki bakır kazanılmıştır. Rafinasyon elektrolizi ile redüksiyon elektrolizi arasındaki farklardan biri, kullanılan anot plakasıdır. Redüksiyon elektrolizinde kurşun plaka kullanıldı ve kullanılan plakada herhangi bir çözünme olmadı.

Kurşun plaka kullanılmasının nedeni, kurşun direkt olarak çözünmeyen $PbSO_4$ oluşturarak anot yüzeyinde kalır. Anot bakırı fazla miktarda kurşun içerirse oluşan $PbSO_4$ yüzeyi tamamen kaplayarak anodun pasifleşmesine neden olur.

Diğer bir fark, oluşan anot reaksiyonlarıdır. Rafinasyon elektrolizinde anottan çözünen metal iyonları katotta redüklenirken, redüksiyon elektrolizinde çözünmeyen anotlar (genellikle %4 – 6 Sb içeren kurşun alaşımları) kullanıldığından, anot reaksiyonu elektrolitte bulunan bir anyon veya molekülün oksidasyonu ile sağlanmalıdır. Oksidasyon işlemi, sulu çözeltilerde suyun disosiyasyonu sonucu

oluşan OH^- iyonunun üstlendiği bir görevdir. Aşağıda rafinasyon ve redüksiyon elektrolizi anot reaksiyonları verilmiştir.

Kurşun bazik bir metal olmasına rağmen; bakır redüksiyon elektrolizinde anot malzemesi olarak kullanılmasının neden ve/veya nedenlerini ilgili reaksiyonlar eşliğinde açıklayınız.

EMF serisine baktığımızda kurşunun hidrojenden daha bazik olduğunu, bakırın ise daha soy olduğunu görebiliriz. Bu basit yaklaşımla da kurşunun bakır redüksiyon elektrolizi esnasında anot olarak kullanıldığı taktirde çözüneceğini söyleyebiliriz. Fakat kurşun, bakır redüksiyon elektrolizinde, suyun parçalanmasıyla ortaya çıkan O_2 ile de PbO ve bu PbO, H_2SO_4 çözeltisiile $PbSO_4$ bileşiğini yapar. Bu bileşikler kurşun anot yüzeyini kaplar ve kararlı bir anot yüzeyi meydana getirir. Bunun sonucunda kurşun çözünmez ve bu sebeple anot malzemesi olarak kullanılır.

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ (Anot Reaksiyonu),

$Pb + ½\ O_2 \rightarrow PbO$,

$PbO + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + H_2O$

3. DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

- Elektroliz hücresi,
- Doğru akım güç kaynağı (voltmetre, ampermetre ve bağlantı kabloları),
- Bakır-sülfat ve sülfürik asit çözeltisi (Elektrolitte 35-50 g/L Cu içeren çözelti, 140-220 g/L H_2SO_4), alkol (temizleme işlemi için), katkı malzemeleri olarak, jelatin tozu ve tiyoüre (0,001 gr)
- Hassas terazi,
- Beherler,
- Katot elektrolitik bakır ve anot blister bakır (yüksek sıcaklıklarda saflaştırılmış) plakaları (saflaştırma elektrolizi için),
- Katot paslanmaz çelik ve anot kurşun plakalar (geri kazanım elektrolizi için),
- Isıtıcı, manyetik karıştırıcı, kumpas.

Katkı malzemelerinin görevleri:

Jelatin: Katot üzerine biriken bakırın, yüzeye düzgün ve homojen olarak bağlanmasını sağlayarak ince kristalli sert bir bakır yapısı oluşturur.

Tiyoüre: Jelatinin yan etkilerini ortadan kaldırır ve katot malzemesi yüzeyindeki sivri uçlarla çukurlukları izole eder.

REDÜKSİYON ELEKTROLİZİ

4. DENEYİN YAPILIŞI

Belirtilen miktarlarda bakır-sülfat ($CuSO_4$) ve H_2SO_4 tartılarak elektrolit çözeltisi hazırlanır ve beher içine konulur. Belirtilen miktarlarda jelatin tozu ve tiyoüre çözeltiye eklenerek karıştırılır. Metalin toplanacağı malzeme (katot levha) alkolle temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak sonuç kaydedilir. Anot ve katot elektrotlar elektrolit çözeltisi içine yerleştirilir. Doğru akım güç kaynağının (+) kutbuna anot levhanın bağlantı kablosu; (-) kutbuna ise katot levhanın bağlantı kablosu takılır. Akım yoğunluğu olarak bakırın saflaştırılması ve geri kazanım elektroliz deneylerinin her ikisinde de 150 A/m^2 göz önüne alınarak, katot levhanın elektrolit içine batan kısmının alanı hesaplanır ve buna göre devreden geçirilecek akım miktarı belirlendikten sonra doğru akım güç kaynağı çalıştırılarak devreye akım verilir. 15 dakika elektroliz işlemine devam edilir ve tam zamanına göre güç kaynağı kapatılarak devreye verilen akım kesilir. Katot levha, başlangıçtaki gibi alkolle temizlenerek kurutulur ve son ağırlığı tekrar tartılır. Katotta toplanan madde miktarı belirlenir ve teorik olarak birikmesi gereken miktarla karşılaştırılarak yukarda verilen bağıntılar yardımı ile akım verimi ve deneysel hata payı hesaplanır. Her iki deneyin de yapılışı aynı şekilde yürütülür.

**Deney sorumlusu tarafından belirlenen kriterlere göre deney gerçekleştirilir.

5. İSTENENLER VE ÖDEVLER

Katotta biriken Cu miktarını hesaplayınız.

6. KAYNAKLAR

1. POPOV K.I., DJOKİC S.S., GRGUR B.N., “Fundamental Aspects of Electrometallurgy”, 2002
2. YTÜ Metalurji Müh., “Demir Dışı Metal Üretimi Laboratuar Kitapçığı”, 1997
3. EKERİM, A., Elektrometalurji Ders Notları, 2010
4. BOR,F.Y., “EkstraktifMetalurji Prensipleri Kısım II”, Birinci Baskı, 1989
5. Arslan, F. , Arın T. , “Elektroliz Deney Föyü” KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon 2010
6. Alver, Ü., Sarı, A., Güler, O., Elektroliz Yöntemi İle Metal Saflaştırma ve Geri Kazanımı, KTÜ Metalurji ve Malzeme Müh. Böl. Laboratuar Föyü, 2016
7. İncekara M. , “Elektroliz Yöntemiyle Bakır Tozu Üretilmesi” , Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 69-79, 2008
8. Güzey G. , “Elektrometalurjik Yöntemlerle Metalik Bakır ve Bakır-Kalay Alaşım Tozlarının Üretimi ve Üretim Koşullarının Optimizasyonu”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 12, 13, 14, Haziran 2009
9. http://www.corrosion-doctors.org
10. http://chemed.chem.wisc.edu
11. http://www.drkcn.yzi.me/copper.doc
12. Kocaeli Üni., Kimya Müh., Genel Kimya Laboratuar Föyü
13. Tholego P., Aubrey R., Katlego R., Nhlanhla O., Stephen S., Thapelo S., ‘Production of Copper Concentrate and 99.99 % Copper Cathode from Low-grade Copper Ore in Frank’, Enviromental and Materials Engineering, University of Leeds, 2012.
14. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copper_Raffination.svg