

Bakırın kimyasal işlenmesi

Orhan ÇAKIR*, Volkan AYDOĞAN, Zeynep Burcu ÖZATES

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Özet

Kimyasal işleme yöntemi, kimyasal aşındırıcı içerisinde işlenecek malzemenin kontrollü bir şekilde korozyona uğratarak şekillendirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işleme yöntemi geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden bir tanesidir ve her türlü malzemenin ekonomik olarak şekillendirilmesi mümkündür. Gelişimini 1950'li yıllarda uçak endüstrisinde kullanılan alüminyumun işlenmesi ile göstermiş ve elektronik endüstrisinde kullanımı ile yaygınlaşmıştır. Son yıllarda mikron boyutunda parçaların imalatında kullanımı ile imalat yöntemi olarak daha özel bir konuma gelmiştir.

Bakır, mühendislik malzemesi olarak özellikle elektronik endüstrisinde yaygın kullanımı nedeniyle işlenmesi ilgi çeken bir malzemedir. Kimyasal işleme bakırın şekillendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir, hatta bazı elektronik parçaların işlenmesinde zorunlu olarak kullanılır. Bu çalışmada seçilen bakırın (DIN EN 1652 standardına uygun %99.9 Cu içerikli) kimyasal işlenmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Kimyasal aşındırıcı olarak, yaygın kullanımı nedeniyle bakır-2-klorür ($CuCl_2$) çözeltisi seçilmiştir. Bu kimyasal aşındırıcı farklı derişikliklerde (2.04 Molar, 2.33 Molar ve 2.65 Molar) hazırlanmış ve farklı kimyasal işleme sıcaklıklarında (30°C, 50°C ve 70°C) bakırın kimyasal işlenmesi yapılmıştır. Kimyasal işleme yöntemi daldırma tekniği şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bakırın kimyasal işlenmesinde yüksek kimyasal işleme sıcaklıklarının kullanıldığı çok denenmiş bir durum değildir. Bu çalışmanın diğer bir farklılığı, kullanılan yüksek kimyasal aşındırma sıcaklığının kimyasal işleme üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Deneysel çalışmada araştırılan iki parametre olarak, kimyasal işlenen malzemedeki işleme derinliği ve yüzey pürüzlülüğü değerleri seçilmiştir.

Bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işlenmesinde kimyasal aşındırıcının derişığının artması ile işleme derinliğinin arttığı görülmüştür. Bu durum, kullanılan kimyasal işleme sıcaklığının artması ile de olumlu şekilde etkilenmiştir. Yüzey kalitesi açısından kullanılan her üç aşındırıcı yoğunluğu da benzer sonuçlar vermiştir. Yüksek işleme sıcaklıklarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal işleme, bakır, aşındırma derinliği, yüzey pürüzlülüğü

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Orhan ÇAKIR. ocakir@dicle.edu.tr; Tel: (412) 248 80 01 (3547)

Chemical machining of copper

Extended abstract

Copper and its alloys are major engineering materials that is extensively used particularly in electronics industry due to their electrical properties. The importance of these materials attracted many researches for investigating various production methods. Chemical machining is one of them. This machining process is widely used in various industries to produce complex components from flat materials. The process is called controlled corrosion operation of workpiece material in acidic or alkaline environment. The major advantage of chemical machining is the manufacture of high precision parts in a short machining time with low production cost. Moreover, the process does not need a special tool and product parts are burr free. However, chemical machining is not environmentally friendly machining process due to chemical etchants which have adverse effect on environment. This problem is almost overcome by using regeneration of waste etchant and recovery of etched material simultaneously.

The chemical machining of copper is vital process in the electronics industry. It is a major production step in the manufacture of printed circuit boards. Various chemical etchants can be used to shape in chemical machining of copper, one of them is cupric chloride (CuCl_2). The advantages of this etchant over other etchants are numerous; high etch rate, compatible with etching maskant, cost effective, possibility of etched material recovery and full regeneration of waste etchant. These properties make the etchant possible the most environmentally friendly chemical solution in the chemical machining of copper. These properties make this

etchant more attractive in case of chemical machining of copper.

In the present study, chemical machining of copper with CuCl_2 was examined. The selected material was 99.9% pure copper (DIN EN 1652). The experimental study was completed in beaker as immerse chemical machining method. The selected etchant concentrations and temperatures were 2.04, 2.33 and 2.65 Mol; and 30°C, 50°C and 70°C. Most of the parameters were related to literature survey, but the highest temperature (70°C) was not widely used. The prepared etchant solution was placed on hot plate with magnetic stirrer. The chemical machining temperature was kept at $\pm 2^\circ\text{C}$. The total machining time was 20 mins and each measurement of thickness and surface roughness were taken at every 5 mins.

The aim of this study was to examine the effects of selected etchant concentration and temperature on depth of etch and surface roughness in chemical machining of copper. It was concluded that etchant concentration is important factor on depth of etch, higher etchant concentration increased depth of etch. Surface roughness was affected by etchant concentration and temperature.

Keywords: Chemical machining, copper, depth of etch, surface roughness.

Giriş

Kimyasal işleme yöntemi geleneksel olmayan imalat yöntemleri içerisinde hem kullanım kolaylığı, hem de ekonomik oluşu nedeniyle tercih edilen bir imalat yöntemidir. Genel olarak yöntem tanımlanırken “kontrollü korozyon” uygulaması olarak belirtilir. Korozyon ortamı daha önce işlenecek malzemeye uygun olarak seçilir ve bu amaçla kimyasal aşındırıcı olarak tanımlanan bir çözelti hazırlanır. Kimyasal çözelti asidik veya bazik ortam olabilir. İşlenecek yüzey durumuna göre gerekli ise malzemenin yüzeyi koruyucu bir tabaka ile (maske) kaplanır ve işlenecek yüzeyler koruyucu tabakanın olmadığı malzeme bölgeleri olarak belirlenir. Malzeme, kimyasal aşındırıcının içine konarak şekillendirme işlemi gerçekleştirilir [Çakır, 2001; Çakır, vd. 2007].

Kimyasal işleme yöntemi Eski Mısır'dan bu yana değişik biçimlerde kullanılmış ve günümüze kadar gelmiş belki de en eski geleneksel olmayan imalat yöntemidir. 1950'li yıllarda uçak kanatlarında kullanılan alüminyum parçaların işlenmesinde tercih edilen bir yöntem olmuştur. Elektronik endüstrisinde yoğun kullanımı sonucunda yöntemin kullanım alanları artmıştır. Özellikle baskı devre kartlarının imalatının önemli bir imalat aşamasını oluşturmaktadır. Son yıllarda mikron boyutlu parçaların imalatında kullanılması ve bu konudaki endüstriyel talebin her geçen gün artması nedeniyle kimyasal işleme yöntemi cazibesini korumaktadır [Harris, 1976; Rajurkar 1992; Çakır, 2001; Madou, 2002; Çakır, vd. 2007].

Bakır, mühendislik malzemesi olarak birçok avantaja sahip bir malzemedir. Çok çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bakır, sunduğu özellikler sayesinde her geçen gün çekiciliğini arttırmaktadır. Elektrik iletkenliği nedeniyle elektronik endüstrisinde yoğun olarak kullanılırken, ısı iletkenliği dolayısıyla da bazı endüstriler tarafından tercih edilmektedir.

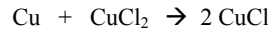
Bakırın üretimi kolaydır ve iyi bir dayanım direncine ve kırılma özelliğine sahiptir. Bakırın

standart olarak çok sayıda alaşımları söz konusudur ve her bir bakırın alaşımı farklı özelliklere sahiptir. Bakır ve bakır alaşımlarının farklılığı mühendislik malzemesi olarak ilgi çekiciliğini arttırmaktadır.

Bakırın kullanım alanlarının fazlalığı, bu malzemenin işleme yöntemlerinin fazlalığını beraberinde getirmektedir. Çeşitli imalat yöntemleri kullanılarak bakırın işlenmesi mümkündür. Kullanılabilecek imalat yöntemlerinin seçilmesi konusunda, malzemenin hangi amaçlar için tercih edildiğine bakmak gerekir. Elektronik endüstrisinde bakırın kullanımı konusundaki yaygınlık, malzemenin işlenmesi konusunda geleneksel olmayan imalat yöntemlerinin tercih edilmesine yol açmaktadır. Bu konuda kimyasal işleme yöntemi birçok açıdan seçilmesi zorunlu olan bir imalat yöntemidir.

Bakırın kimyasal işlenmesi konusunda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaları anlatan bir tarama makalede değişik kimyasal aşındırıcıların kullanımının mümkün olduğu belirtilmiştir [Çakır, 2008]. Bu kimyasal aşındırıcılar içinde bakır-2-klorür (CuCl_2) çözeltisinin daha uygun olduğu konusunda genel bir eğilim söz konusudur. Bunun temel nedeni ekonomik bir çözelti olması ve çevre dostu olmasıdır. Bakırın CuCl_2 ile kimyasal işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atık çözelti tekrar işlenerek ilk haline getirilebilmekte ve aşındırılmış bakırın elektrolitik yöntemle geri kazanımı ile hem yeni çözelti masrafı olmamakta, hem de geri kazanılan bakırın satışı ile ekonomik olarak büyük avantaj sağlanmaktadır. Bu durum çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir [Allen ve Çakır, 1993; Çakır, 2005; Çakır, 2006; Çakır, vd. 2011].

Bakırın CuCl_2 ile kimyasal işlenmesine ait kimyasal reaksiyon;



şeklinde gerçekleşir. Kimyasal reaksiyonun basitliği nedeniyle kullanılmış çözeltinin ilk durumuna dönüştürülmesi ve işlenmiş bakırın

geri eldesinin mümkün olması, çözeltinin kimyasal işleme hızının iyi olması ve ekonomik oluşu bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işlenmesindeki en önemli avantajlardır. Çevresel etkilerinin diğer kimyasal aşındırıcılar ile karşılaştırıldığında en az olması da çok önemlidir.

Bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işlenmesini araştıran bu çalışmada seçilen kimyasal aşındırıcının ve işleme sıcaklığının işleme derinliği ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışma

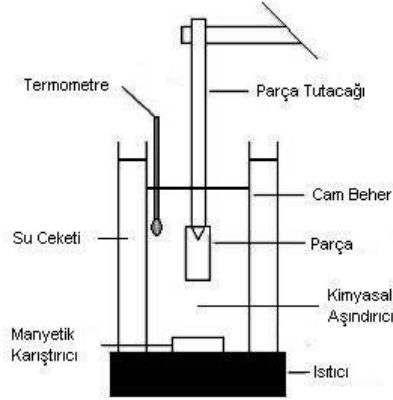
Bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işlenmesi amacıyla seçilen malzeme %99.9 saflıkta bakır (DIN EN 1652 standardında) malzeme $1 \times 20 \times 100$ mm boyutlarında kesilmiştir. Hazırlanmış numunelerin temizlenmesi amacıyla ultrasonik temizleme yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla hazırlanan kimyasal temizleme çözeltisi içerisinde numuneler $30^\circ C$ sıcaklıkta yaklaşık 20 dakika bekletilmiştir.

Seçilen kimyasal aşındırıcı üç farklı derişikte hazırlanmıştır. Bu amaçla, daha önceki çalışmalar da dikkate alınarak, en uygun derişik değeri (2.33 Mol) yanında 2.04 ve 2.65 Mol derişik değerleri de seçilmiştir. Ayrıca kimyasal işlemenin uygulanacağı işleme sıcaklığı olarak üç farklı değer ($30^\circ C$, $50^\circ C$ ve $70^\circ C$) belirlenmiştir. Genel olarak kimyasal işleme en fazla $50^\circ C$ değerinde yapılır, bu seçime etki eden faktör kimyasal işleme uygulamasının yapıldığı aşındırma makinalarında kullanılabilecek en yüksek sıcaklık değeridir. Ayrıca daha yüksek işleme sıcaklığı seçilerek ($70^\circ C$) bunun kimyasal işleme üzerindeki etkisinin de belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işlenmesi daldırma metodu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 1). Her bir deney için 200 mL çözelti uygun derişikte hazırlanmış ve cam kavanoz içine konarak istenen sıcaklığa getirilmiştir. Isı kaybını önlemek için cam kavanoz, su dolu daha büyük bir kavanoz içine konmuş ve sıcaklık

kontrolünün daha iyi olması sağlanmıştır. Sıcaklık değerini $\pm 2^\circ C$ değerinde tutulmuştur.

Deneysel çalışma sırasında kalınlık ölçümleri için Mitutoyo mikrometresi (ölçüm hassasiyeti ± 0.001 mm değerinde) ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Taylor-Hobson Surtronic 3+ yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 1. Daldırma yöntemi ile kimyasal işleme deney düzeneği

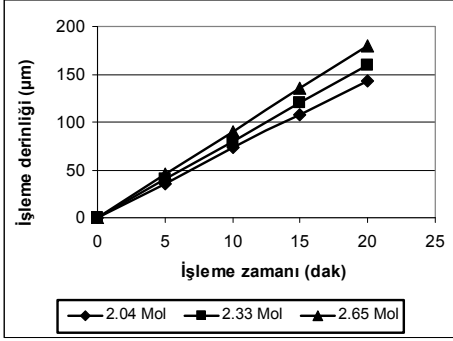
Deneysel çalışma toplam 20 dakika işleme zamanı olarak kabul edilmiş ve ölçümler her 5 dakikada bir yapılmıştır. Her deneysel parça yeni hazırlanmış kimyasal çözelti ile kimyasal olarak işlenmiştir. Her deney parçasından üç ölçüm değeri alınmış ve her parametre için üç parça işlenmiştir.

Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bakırın $CuCl_2$ ile kimyasal işleme yönteminde temel olarak işleme derinliğinin ve yüzey pürüzlülüğünün kimyasal aşındırıcı derişikliğine ve işleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi araştırılmıştır.

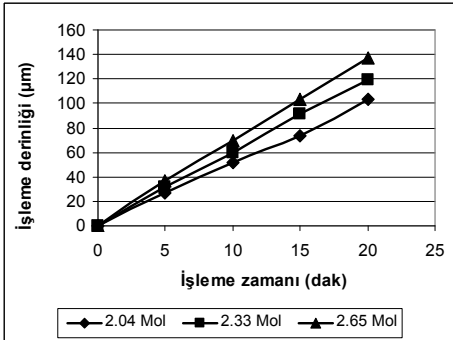
Seçilen iki farklı parametrenin işleme derinliği üzerindeki etkileri Şekil 2'de verilmiştir. Açıkça görülmektedir ki seçilen $CuCl_2$ aşındırıcısının derişik değeri arttıkça işleme derinliği artmaktadır. Kimyasal işleme sıcaklığı olarak referans alınabilecek değer olan $50^\circ C$ 'de bu

değişim görülmektedir. Kimyasal aşındırıcının 2.04 Mol değerinde işleme derinliği değeri 140 μm iken 2.33 Mol'de 160 μm ve 2.65 Mol'de 180 μm olmuştur.

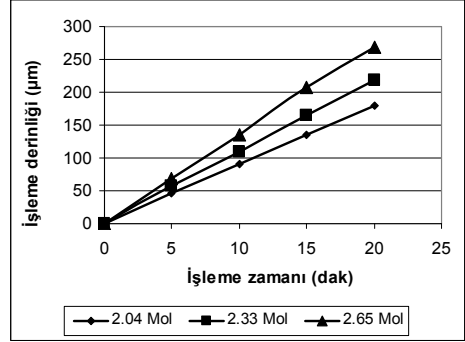


Şekil 2. Kimyasal aşındırıcı derişığının işleme derinliği üzerindeki etkisi

İşleme derinliğinin işleme sıcaklığı ile değişimi Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. Şekil 3'de kimyasal işleme sıcaklığı olarak 30°C alınmıştır. Şekil 4'de ise sıcaklık değeri 70°C'dir. Görülmektedir ki, işleme sıcaklığı artması ile işleme derinliği artmaktadır. En yüksek işleme derinliği değerleri en yüksek derişik değeri ve en yüksek işleme sıcaklığı değerlerinde elde edilmiştir. En düşük işleme derinliği değeri 30 °C işleme sıcaklığı değerinde ortaya çıkmaktadır.

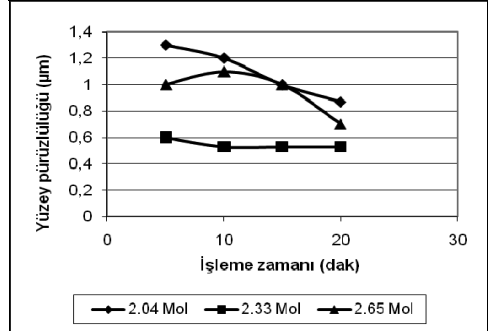


Şekil 3. Kimyasal aşındırıcı derişığının 30°C işleme sıcaklığında işleme derinliği üzerindeki etkisi

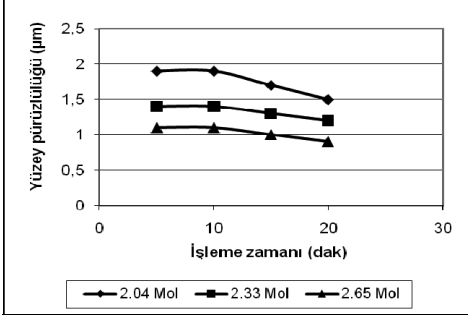


Şekil 4. Kimyasal aşındırıcı derişığının 70°C işleme sıcaklığında işleme derinliği üzerindeki etkisi

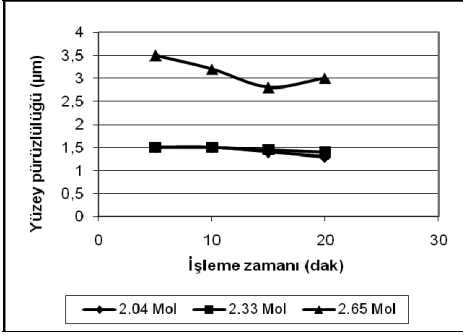
Bakırın CuCl_2 ile kimyasal işlenmesinde deneysel olarak araştırılan ikinci parametre yüzey pürüzlülüğü değeridir. Herhangi bir malzemenin kimyasal işlenmesinde yüzey kalitesinin iyi olması istenen bir durumdur. Deneysel çalışmada kullanılan üç farklı işleme sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değişimleri Şekil 5-7'de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kullanılan kimyasal aşındırıcının derişik değerinin etkili olduğu görülmüştür. Deneysel çalışma sonucunda 2.33 Molar'lık kimyasal aşındırıcı değerinin daha iyi yüzey kalitesi verdiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Kimyasal aşındırıcının farklı derişik değerlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (işleme sıcaklığı : 30°C)



Şekil 6. Kimyasal aşındırıcının farklı derişik değerlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (işleme sıcaklığı : 50°C)



Şekil 7. Kimyasal aşındırıcının farklı derişik değerlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (işleme sıcaklığı : 70°C)

Yüzey pürüzlülüğü açısından yapılan değerlendirmede ortalama yüzey pürüzlülüğünün genel olarak tüm işleme sıcaklıklarında benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra) yaklaşık olarak 0.5-2 µm aralığındadır. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğü değeri 70°C işleme sıcaklığında ve 2.65 Molar derişikte en yüksek değeri (3-3.5 µm) olduğu görülmüştür.

Genel Sonuçlar

Bakırın CuCl₂ ile kimyasal işlenmesinin deneysel olarak incelendiği bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- İşleme derinliği değeri kullanılan kimyasal aşındırıcının derişik değeri ile değişmektedir. Derişik değeri arttıkça işleme derinliği değeri artmaktadır. Seçilen üç farklı kimyasal aşındırıcı derişik değeri içinde en yüksek işleme derinliği değeri 2.65 Mol değerinde elde edilmiştir.
- İşleme değeri üzerindeki diğer faktör kimyasal işleme sıcaklığıdır. Açıkça görülmektedir ki işleme sıcaklığı arttıkça işleme derinliği değeri artmaktadır.
- Yüzey pürüzlülüğü değeri hem kimyasal aşındırıcının derişik değeri ile hem de işleme sıcaklığı ile değişmektedir. Genel olarak düşük işleme sıcaklık değerinin seçilmesi daha uygun olacaktır. Yüzey pürüzlülüğü değeri yaklaşık olarak 0.5-2 µm değerleri aralığında çıkmaktadır.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na ve teknik yardımları için Dr. Abdurrahman Saydut'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Allen, D.M., Çakır, O., (1993), Copper etching economics, *Photochemical Machining Institute J. (PCMI)*, Cilt:52, s:4-7.
- Çakır, O., (2001), Kimyasal işleme yöntemi, *II. Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 7-9 Kasım 2001, Manisa, s:813-819
- Çakır, O., (2005), Chemical etching of Cu-ETP copper, *J. of Materials Processing Technology*, Cilt:162-163, s:275-279
- Çakır, O., (2006), Copper etching with cupric chloride and regeneration of waste etchant, *J. of Materials Processing Technology*, Cilt:175, No: s:63-68
- Çakır, O., Yardımeden, A., Özben, T., (2007), Chemical Machining, *Archives of Material Science and Engineering*, Cilt28, No:8, s:499-502
- Çakır, O., (2008), Review of etchants for copper and its alloys in wet etching processes, *Key Engineering Materials*, Cilt364-366, s:460-465

- Çakır, O, Özateş, Z.B., Aydoğdu, V., (2011), Investigation of etch rate and surface roughness in chemical machining of copper with FeCl₃ and CuCl₂, *Proc. of Die and Molds Conference 2011*, s:4
- Dini, J.W., (1984), Fundamentals of chemical milling, *American Machinist (Special Report:768)*, Temmuz, s:113-128.
- Harris, W.T., (1976), *Chemical Milling*, Oxford University Press, İngiltere
- Madou, M.J., (2002), MEMS Fabrication, *The MEMS Handbook*, Chapter 16, (Edited by Mohamed Gad-el-Hak), CRC Press
- Rajurkar, K.P., (1992), Nontraditional manufacturing processes, Chapter 13, *Handbook of Design, Manufacturing and Automation*, (Ed. R.C. Dorf, A. Kusrak), John Wiley & Sons Inc., New York, ABD, s:211-241