



**ANOT METALİ BUHARLARINDA PLAZMA ÜRETEEN YENİ TEKNİK,
TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA)**

***(THE THERMIONIC VACUUM ARC (TVA) - A NEW TECHNIQUE
PRODUCING PLASMA IN THE VAPORS OF THE ANODE METAL)***

Tamer AKAN*, Naci EKEM*

ÖZET/ABSTRACT

Termiyonik vakum ark (TVA), saf metal buharı plazması üreten yeni tip bir plazma kaynağıdır. Bu çalışmada 2000 yılında Osmangazi Üniversitesi, Fizik bölümü'nde kurulan bu yeni tip plazma kaynağının temel yapısı ve TVA deşarjın karakteristikleri verilmiştir.

The thermionic vacuum arc (TVA) is a new type of a plasma source which generates a pure metal vapor plasma. In this study, basic construction of this new type of a plasma source installed at Osmangazi University, Physics Department in 2000 and the characteristics of the TVA discharge are presented.

ANAHTAR KELİMELEER/KEYWORDS

Plazma, Anodik vakum ark
Plasma, Anodic vacuum arc

1. GİRİŞ

Ark deşarjlar; katotta meydana gelen olayların karakteristiğine, pozitif kolondaki plazma haline veya deşarj akımının sağlandığı ortama (gaz veya elektrot materyali buharı) göre sınıflandırılırlar (Raizer, 1991). Vakum arklar, vakum koşullarında elektrotlar arasında ateşlenen ve elektrotların şiddetli bir şekilde erozyona uğrayarak buharlaşmasıyla üretilen metal buharlarında meydana gelirler (Lafferty, 1980). Ark, katot metalinin buharlaşmasıyla oluşuyorsa katodik vakum ark, anot metalinin buharlaşmasıyla oluşuyorsa anodik vakum ark olarak adlandırılır.

Katot metali buharlarında meydana gelen katodik vakum ark ilk kez 1971 yılında A.A. Snaper tarafından tanımlanıldı (Snaper, 1971). Katodik ark, katot yüzeyindeki ark spotlarının katotu erozyona uğratarak buharlaşması ile oluşur. Ark, aşağı yukarı hareket edebilen elektromanyetik olarak aktif olan tetikleyici tel tarafından vakum koşullarında oluşur. Tetikleyici ile katotun kısa süre kontak halinde olması süresince, bu kontak bölgesinin aşırı ısınması oluşur ve ana katotlar arasında ark meydana gelir. Ark yüksek akımlara ulaştığında, katot yüzeyi üzerinde parlak ve sürekli hareket halinde olan katot spotları ortaya çıkar. Katot materyali bu spotlardan sürekli olarak buharlaşır ve elektrotlar arasında tümüyle iyonlaşmış metal buharı plazması elde edilmiş olur (Randhawa, 1988).

Anot metalinin buharlaştırılmasıyla oluşan deşarj, ilk kez 1967 yılında H.J. Hamilton tarafından önerildi (Hamilton, 1967). Bu yöntemde yüzük şeklinde ısıtılmış katot ve su soğutmalı anot, elektromanyetik bir mıknatıs içine yerleştirilmiştir. Katot ısıtıldıktan sonra elektrotlar arasına yüksek voltaj uygulanılmaktadır. Buharlaştırılacak materyalin içine yerleştirildiği anot yüzeyine gelen hızlandırılmış ve manyetik olarak kuşatılmış elektron bombardımanı nedeni ile anot metali erir ve sonra buharlaşır ve eğer buharlaşma oranı yeterince yüksek ise saf metal buharlarında bir deşarj oluşturulabilir.

Hamilton sistemine benzer anot metali buharlarında deşarj üreten iki sistem daha önerilmiştir. Bunlardan birincisi 1979 yılında A.M. Dorodnov tarafından, ikincisi ise 1983 yılında V.A. Sayenko tarafından önerilmiştir (Dorodnov vd., 1979; Sayenko vd., 1983). Bu üç yöntem hakkında çok fazla teknolojik uygulama ve bilimsel yayın yapılmamıştır. Bunun nedeni her üç sisteminde mekanizmalarının güçlüğü ve pahalı olmasıdır (Musa, 1992).

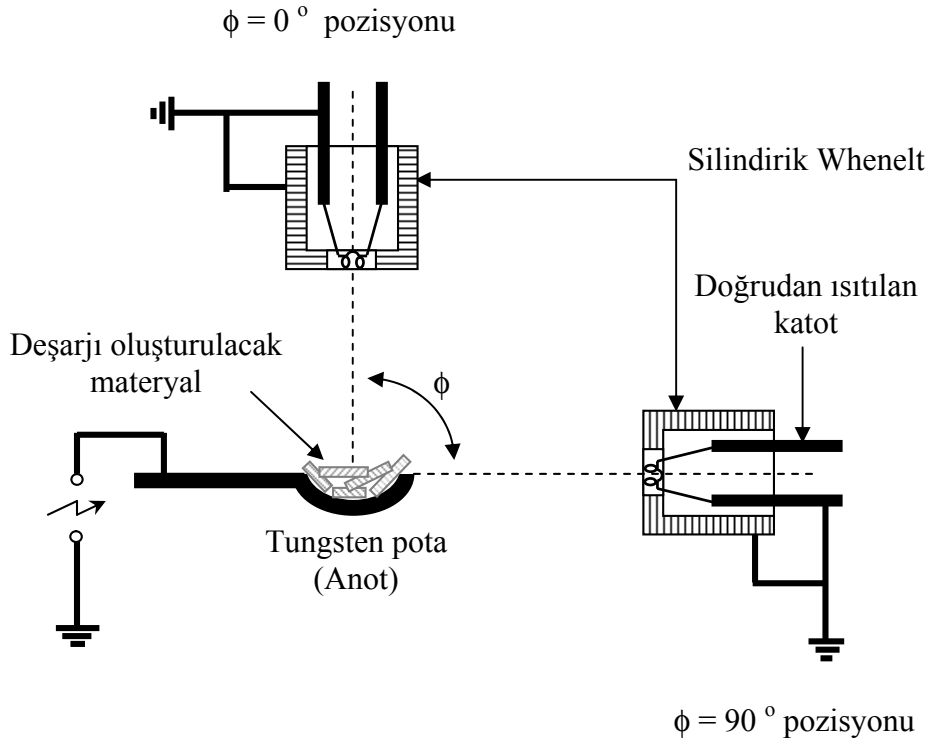
1984 yılında Bükreş/ROMANYA'da bulunan INFLPR (National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics)'dan düşük sıcaklık plazma fiziği grubu tarafından, anot metalinin buharlaştırılmasıyla oluşan termiyonik vakum ark (TVA) adında yeni tip bir vakum ark oluşturuldu (Musa vd., 1984). TVA'da anot potası içine yerleştirilen materyal, katot flamenti tarafından üretilen elektronlarla bombardıman edilmektedir. Isıtılmış katottan yayınlanan elektronlar, anot üzerine negatif potansiyelde tutulan whenelt silindiri ile odaklanmakta ve elektrotlar arasına uygulanan yüksek voltaj yardımıyla hızlandırılmaktadır. Elektronlar tarafından anot üzerine aktarılan enerji, anot içinde bulunan materyalin erimesini ve sürekli bir şekilde buharlaşmasını sağlar. Elektrotlar arası uzaklık küçük ve uygulanan yüksek voltaj yeterince yüksek ise elektrotlar arası uzayda anot metali atomlarının uygun yoğunluğu için parlak bir deşarj oluşur. Isıtılmış katottan elektronların sürekli emisyonu nedeniyle ark kolayca ateşlenilir ve oluşan ark oldukça kararlıdır (Musa vd., 1984; Musa vd., 1986; Musa vd., 1994; Musa vd., 1997).

1988 yılında anot metali buharlarında meydana getirilen bir deşarj, TVA'ya benzer fakat sıcak katot yerine soğuk katot kullanarak Essen Üniversitesi'ndeki bir grup tarafından oluşturuldu (Ehrich, 1988). Bu durumda oluşturulan deşarj, vakum koşullarında anot ile soğuk katotun kısa süreli olarak kontak etmesiyle ateşlenmekte ve anot metalinin buharlaştırılmasıyla oluşmaktadır.

1999 yılında Osmangazi üniversitesi, Fizik Bölümü'nde yeni bir Plazma Fiziği Laboratuvarı kuruldu. 2000 yılında saf metal buharı plazması üreten TVA sistemi de laboratuvarımızda kurulmuştur. Bu çalışmada yeni tip bir plazma kaynağı olan TVA sistemi ve bakır buharlarında ürettiğimiz TVA deşarjın karakteristikleri açıklanmıştır.

2. TVA SİSTEMİ

TVA elektrotlarının düzenlenişi bakımından anot metali buharlarında plazma üreten diğer tekniklerden farklı ve yeni bir tekniktir. TVA doğrudan ısıtılan termiyonik katot ile içine buharlaştırılarak plazması yapılacak materyalin yerleştirildiği anot arasında meydana gelmektedir. TVA'nın farklı iki pozisyonda elektrotlarının şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. TVA'nın farklı iki pozisyonda elektrotlarının şematik gösterimi

Katot; 0.4 mm çapında ve 1 mm çubuk üzerine 4 kez sarılarak elde edilmiş tungsten filamenttir. Katot filamentleri bir whenelt silindiri içine yerleştirilmiştir. Whenelt silindiri 15 mm uzunluğunda, 12 mm çapında ve ön kısmında 5 mm çapında boşluk bulunan paslanmaz çelikten yapılmış bir silindiridir. Anot ise içine buharlaştırılarak plazması oluşturulacak materyalin konduğu kaşık şeklinde 0.2 mm kalınlığında üst kısım boşluğu 10 mm çapında olan tungsten potadır. Katotun içine yerleştirildiği elektron tabancası ile anot, 15 mm kalınlığında 200 mm çapında paslanmaz çelikten yapılmış bir tabla üzerine monte edilmiştir. Bu tabla üzerinde katot ile anot arasındaki açı ve uzaklık ayarlanabilmektedir. Böylece istenilen elektrotlar arası açı ve uzaklıkta TVA deşarj oluşturulabilmektedir. Elektrotların yerleştirildiği bu tabla, bir mekanik pompa ve difüzyon pompası yardımıyla son basınç değeri 10^{-6} mbar yapılabilen ve basıncı dijital basınç ölçer ile ölçülebilen bir vakum odası içine yerleştirilmiştir. Bu vakum odasının üst kısmında bulunan kapak bir kaldıraç yardımıyla açılıp kapanmakta ve elektrotların bulunduğu tabla, vakum odasının içine kolayca yerleştirilebilmektedir. Vakum odasının ön kısmında ise cam ile kapatılmış bir pencere yapılmıştır. Buradan vakum odasının içi gözlenebilmekte ve TVA deşarj oluştuktan sonra

deşarj izlenebilmektedir. Bununla birlikte TVA sisteminde, katot filamentinden termoelektron emisyon elde etmek için bir ac düşük voltaj güç kaynağı (1kW, 27V), elektrotlar arasına yüksek voltaj uygulamak için bir dc yüksek voltaj güç kaynağı (10kW, 0-5kV) ve akım ayarlayıcı bir balast direnç (300 Ω) kullanılmaktadır. Her iki güç kaynağı başka güç kaynaklarının da bulunduğu bir güç kaynakları pano sisteminin içinde bulunmaktadır. Bu pano üzerinde her güç kaynağının ayrı ayrı varyakları, giriş-çıkış değerlerini gösteren dijital göstergeleri ve sigortaları da bulunmaktadır. Şekil 2’de TVA sisteminin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2. TVA sisteminin fotoğrafı

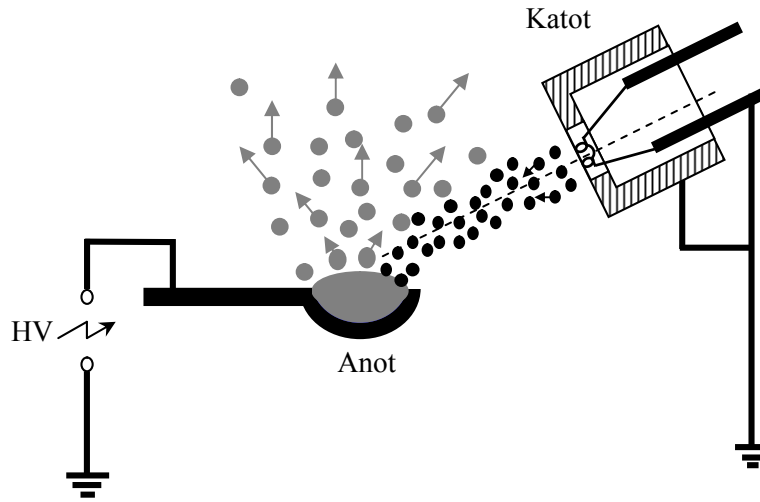
3. TVA DEŞARJ

TVAdeşarjın oluşturulması için ilk olarak katot filamentini, ac düşük voltaj güç kaynağı ile istenilen ısıtma akımında ısıtılır ve böylece katottan termoelektron emisyonu sağlanır. Burada katotun bir ucu, düşük voltaj güç kaynağına bağlı iken diğer ucu elektrotların monte edildiği tablaya dolayısıyla vakum odasının üzerine bağlanmıştır. Böylece vakum odasının kendisi toprak olarak kullanılmıştır. Katotun içine yerleştirildiği whenelt silindiri de negatif potansiyele bağlanmıştır. Katot filamentinden elektron emisyonu sağlandıktan sonra anot ile katot arasına yüksek voltaj uygulanır. Bu, güç kaynakları panosundan yüksek voltaj güç kaynağı varyağının yavaş yavaş artırılması ile olur. Burada önemli bir durumun altını çizmeliyiz. Vakum odasının kendisi toprak olarak kullanıldığı için katot ve anotun elektrik bağlantıları yapılırken, bu bağlantıların vakum odasına temas etmemesi gerekir. Bu nedenle anot ve katotun elektrik bağlantıları, vakum odası üzerinden seramik silindirelerle ve özel vakum tutucu yapıştırıcılarla (torr seal) izole edilmiştir. Anot ile katot arasına yüksek voltajın uygulanması ile katottan yayınlanan elektronlar anot üzerine hızlandırıldığı gibi anot üzerine odaklanmış da olmaktadır. Bu, katot filamentinin içine yerleştirildiği whenelt silindirinin negatif potansiyelde tutulması nedeniyledir. Bu TVA sistemini, diğer anot metali buharı

plazması üreten tekniklerden ayıran en önemli özelliğidir. Elektronlar bir elektromanyetik bobin yardımıyla değil elektrostatik mercekle görev yapan whenelt silindiri ile anot üzerine odaklanmıştır. Bu özellik TVA sistemini daha basit ve ucuz teknoloji haline getirmektedir. Ayrıca elektrostatik mercekle katot yani elektron emisyonu kaynağı birleşik olduğu için elektrotların birbirine göre pozisyonunu değiştirebilmek mümkün olmaktadır.

Hızlandırılarak anot üzerine odaklanan elektron bombardımanı nedeniyle anot içindeki materyal üzerine enerji aktarılır ve bu enerji ile anot materyali ilk olarak ısınır. Uygulanan voltajın artırılmaya devam edilmesi ile anot içindeki materyalinin erimesi ve daha sonra kaynarak buharlaşması sağlanır (Şekil 3).

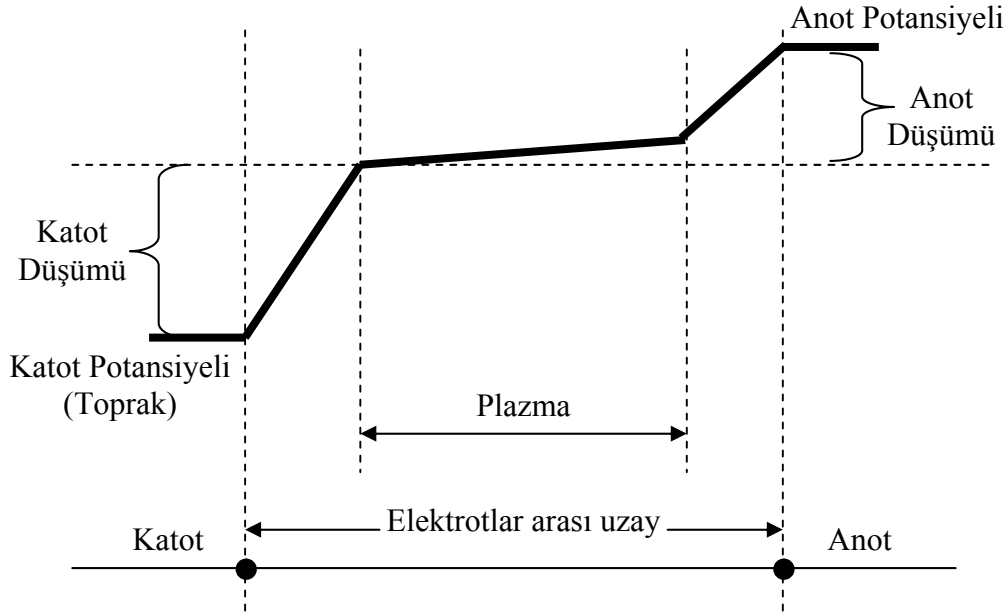
- Buharlaşan anot metali atomları
- Elektron



Şekil 3. Anot metalinin buharlaştırılması. HV (Yüksek voltaj güç kaynağını simgelemektedir)

Elektrotlar arasına uygulanan voltaj artırılmaya devam edilirse, elektrotlar arası uzayda anot metali atomlarının belirli bir yoğunluğunda ve uygulanan voltajın uygun değerinde, katottan yayılan elektron emisyonunun devam etmesi sebebiyle anot metali buharlarında parlak bir deşarj oluşur. Deşarj olduğu anda elektrotlar arasındaki voltaj birden azalır, akım ise aniden yükselir. Deşarjın olduğu vakum odasının kendisi toprak olarak kullanıldığı için oluşan anot metali buharı plazması, anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum çeperlerine doğru yayılır. Bu nedenle TVA’da oluşan plazmanın iyonları, ayrıca bir iyon hızlandırıcı kaynak olmadan yönlendirilmiş ve hızlandırılmış olmaktadır.

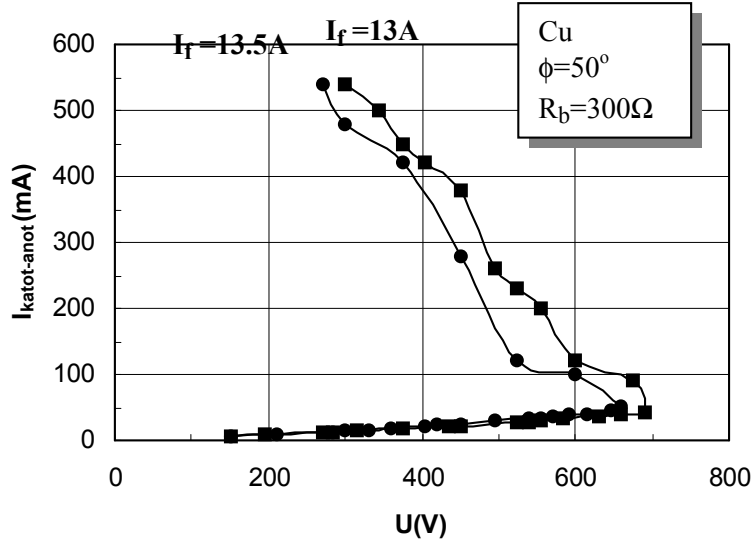
TVA deşarj gazlarda meydana gelen ark deşarjlardan farklıdır. Gazlarda meydana gelen deşarjlarda gaza aktarılan elektriksel enerji, yalnızca gazın iyonlaşmasını ve iyon kayıplarını korumak için harcanırken, TVA’da deşarja aktarılan elektriksel enerji, hem arkın oluşacağı gazı hem de bu gazın iyonlarını aynı anda üretmek için harcanır. Bununla birlikte TVA deşarjın oluşması için gereken koşullar, deşarj olduktan sonra da korunmak zorundadır. Başka bir deyişle TVA, deşarj boyunca hem deşarjın oluşacağı gazı hem de bu gazın iyonlarını oluşturmaktadır. Bu durum Dr. G. Musa tarafından bir model ile açıklanmıştır (Musa vd., 1994). Bu modelde TVA deşarj olduktan sonra, tanımlanan potansiyel dağılımında ortaya çıkan anot potansiyel düşümü açıklanmıştır. TVA deşarjın elektrotları arasındaki potansiyel dağılımı Şekil 4’de verilmiştir.



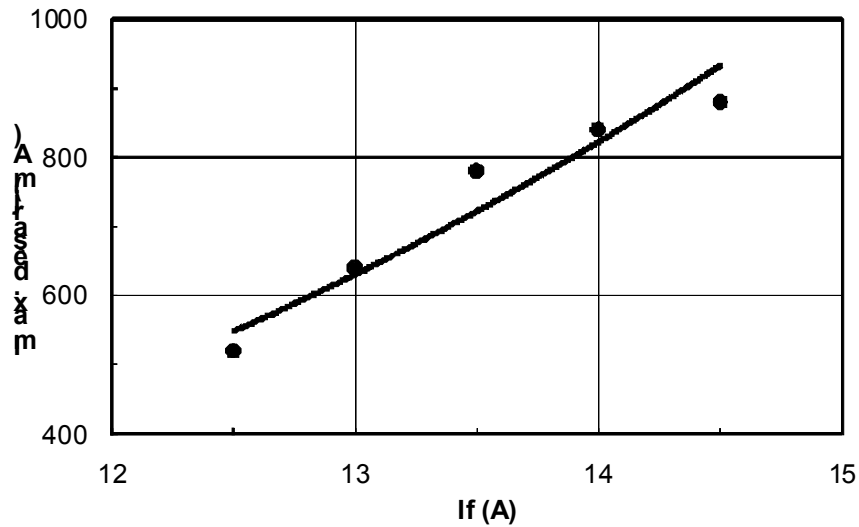
Şekil 4. TVA deşarjın elektrotlar arası uzaydaki şematik potansiyel dağılımı

TVA deşarj oluşuktan sonra deşarj içindeki elektronlar anot potansiyel düşümü ile anot üzerine hızlandırılır. Bu nedenle TVA deşarj oluşuktan sonra anot potası içindeki materyalin buharları, deşarj içindeki elektronların anot içindeki materyale bombardıman etmesi ile oluşur. Başka bir deyişle TVA deşarj, deşarj oluşuktan sonra deşarjın devam ettiği gazı kendisi üretmektedir.

TVA deşarjın katot flamenti ısıtma akımları $I_f=13.5$ A ve $I_f=13$ A için ve anot materyali olarak bakır kullanarak elde ettiğimiz akım voltaj karakteristikleri Şekil 5'de verilmiştir (Akan vd., 2002). Bu karakteristikler elde edilirken elektrotlar üzerine, uygun dirençlerle voltaj bölücü devresi yapılarak yüksek voltaj ölçebilen voltmetre (0-6kV) ve miliampermetre bağlanmıştır. Şekil 5'den görüldüğü gibi TVA deşarj akım voltaj karakteristiğinde iki bölüm ortaya çıkmaktadır. Elektrotlar arasına uygulanan yüksek voltaj arttırıldığında, elektrotlar üzerinden geçen akımın da arttığı birinci bölümde, karakteristik yalnızca katottan yayınlanan elektron emisyonu ile oluşmaktadır. Uygulanan voltajın belirli bir değerinde, elektrotlar üzerindeki voltajın birden azaldığı deşarj akımının ise hızla arttığı görülmektedir. Deşarj akımının hızla arttığı bu voltaj değeri TVA deşarjın oluşması için elektrotlar arasına uygulanması gereken minimum voltaj değeridir. Bu voltaj gazlarda breakdown voltajı olarak isimlendirilmektedir. TVA deşarjın oluşması için uygulanması gereken minimum voltaj değerini de breakdown voltajı olarak isimlendirebiliriz. Ancak bir farklılığın altını tekrar çizmeliyiz. Gazlarda breakdown voltajı ile harcanan enerji gazın iyonlarını oluştururken, TVA'da breakdown voltajı ile harcanan enerji, hem nötral atom hem de iyon oluşturmaktadır. TVA deşarjın akım voltaj karakteristiğinin ikinci bölümünü oluşturan breakdown voltajından sonraki bölgede artık TVA deşarj oluşmuştur ve karakteristik, deşarjın kendisi tarafından oluşturulmaktadır. TVA deşarj oluşuktan sonra deşarj akımı, maksimum bir değere gelip sabit kalmaktadır.



Şekil 5. $I_f=13.5$ A ve $I_f=13$ A katot ısıtma akımları için bakır buharlarında oluşturulan TVA deşarjların akım voltaj karakteristikleri



Şekil 6. TVA maksimum deşarj akımının katod filament ısıtma akımı ile değişimi

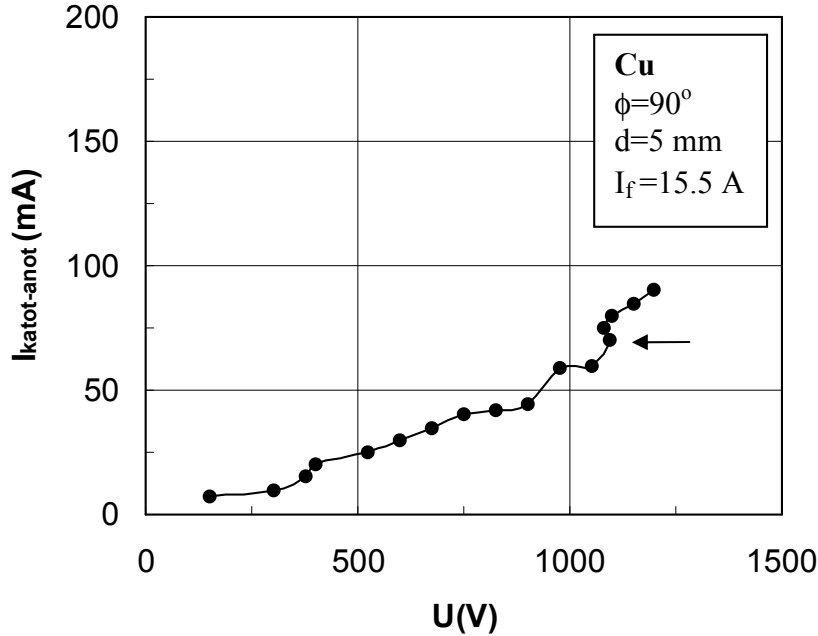
Bu sabit akım, maksimum deşarj akımı olarak isimlendirilir. Bu maksimum deşarj akımının katod filament ısıtma akımı ile değişimi incelenmiştir. Bunun için TVA deşarj ateşlendikten sonra deşarj akımı maksimuma ulaştığında ve deşarj devam ederken katod filament ısıtma akımı değiştirilmiştir. Şekil 6'da bakır buharlarında oluşturulan TVA deşarjın maksimum deşarj akımının katod filament ısıtma akımı ile değişimi verilmiştir.

Şekil 6 ile verilen grafikten görüldüğü gibi TVA deşarj devam ederken, katod filament ısıtma akımı arttırıldığında maksimum deşarj akımı da artmaktadır. Bu TVA deşarjın önemli bir diğer özelliğidir. TVA deşarj, deşarj ateşlendikten sonra dahi kontrol altında tutulabilmektedir. Katod filament ısıtma akımının değiştirilmesi ile istenilen deşarj akımında TVA deşarj ile çalışmak mümkün olmaktadır. Ayrıca TVA deşarj devam ederken katod filament ısıtma akımı kapatılsa, deşarj da sönmektedir.

Şekil 5'de verilen akım voltaj karakteristikleri iki farklı katod ısıtma akımı için elde edilmiştir. Buradan görüldüğü gibi katod filament ısıtma akımı arttırıldığında karakteristik

şekil olarak aynı kalırken breakdown voltajı, daha düşük olmaktadır. Yani, yüksek katot ısıtma akımında daha düşük voltaj da TVA deşarj oluşturmaktadır (Akan vd., 2002).

TVA deşarjın akım voltaj karakteristiğini etkileyen diğer parametre elektrotların birbirine göre konumudur. Bunun için ilk olarak Şekil 1’de tanımlanan elektrotlar arası açı $\phi=90^\circ$ fakat katot, anotun yaklaşık 1mm altına gelecek şekilde yerleştirilerek akım voltaj karakteristiği elde edilmiştir. Bu karakteristik Şekil 7’de verilmiştir.

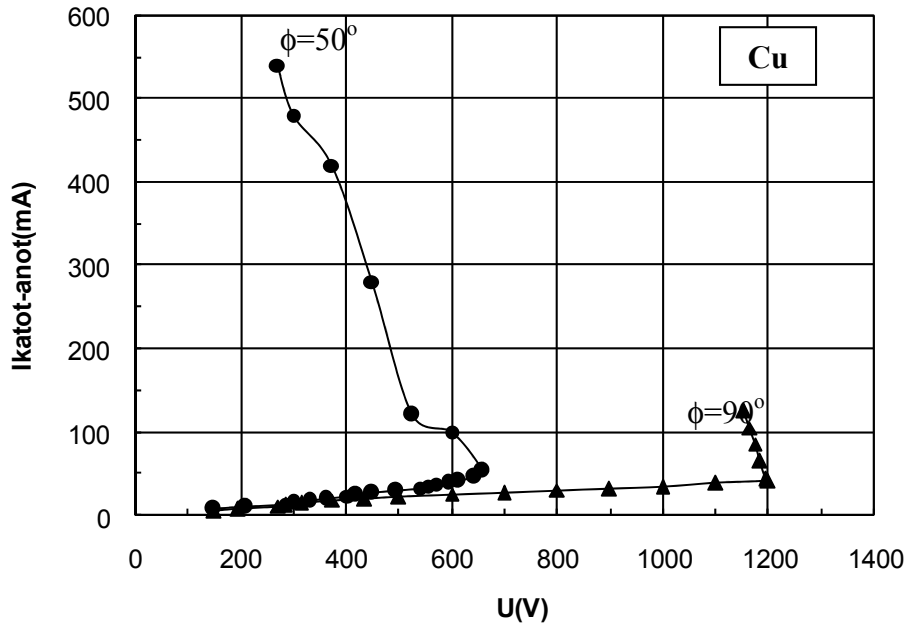


Şekil 7. Elektrotlar arası açı $\phi=90^\circ$ durumunda, katot anotun 1mm altına yerleştirildiğinde elde edilen TVA deşarj akım voltaj karakteristiği

Bu durumda anot içine yerleştirilen bakır, doğrudan elektron bombardımanı nedeni ile değil, potadan ısı iletimi ile ısı olarak buharlaşmaktadır. Yinede bu durumda elektron bombardımanı ile yüksek sıcaklığa ulaşan potanın uçlarına doğru erimiş materyalin pota yüzeyi üzerinde yayılması nedeniyle bir deşarj gözlenmektedir. Görünür deşarjın olduğu an Şekil 7 üzerinde ok ile gösterilmiştir. Elektrotlar arası açı $\phi=90^\circ$ fakat katot, anotun yaklaşık 1mm üstüne gelecek şekilde yerleştirildiğinde elde edilen akım voltaj karakteristiği Şekil 8’de verilmiştir.

Şekil 7 ve Şekil 8’de elde edilen karakteristikler elektrotlar arası açı $\phi=90^\circ$ ’de ve elektrotlar arası uzaklık 5 mm durumunda elde edilmiştir. Bu iki karakteristik hemen hemen aynı çalışma parametrelerinde olmasına rağmen, farklı davranışlar göstermektedirler.

TVA deşarjın akım voltaj karakteristiği $\phi=90^\circ$ ’de katotun anota göre pozisyonunun değiştirilmesi yanında, elektrotlar arası açının değiştirilmesiyle de incelenmiştir. Şekil 8’de elektrotlar arası açı $\phi=50^\circ$ ve $\phi=90^\circ$ şeklinde, farklı elektrotlar arası açıda elde edilen akım voltaj karakteristikleri kıyaslama olması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi elektrotlar arası açı $\phi=50^\circ$ durumunda daha düşük voltaj da TVA deşarj olmaktadır. Bununla birlikte deşarj akımı çok yüksek değerlere çıkmaktadır. $\phi=90^\circ$ durumunda ise daha yüksek voltaj değerlerinde deşarj meydana gelmekte ve deşarj akımı çok yüksek değerlere çıkmamaktadır.



Şekil 8. Farklı elektrotlar arası açıda elde edilen TVA deşarj akım voltaj karakteristikleri. ($\phi=90^\circ$ durumunda katot potanın yaklaşık 1mm üst kısmına yerleştirilmiştir)

4. SONUÇ

TVA, gazlarda meydana gelen ark deşarjlardan ve diğer anot metali buharı deşarjı üreten tekniklerden hem elektrotlarının düzenlenişi bakımından hem de oluşan deşarjın özellikleri bakımından farklı ve yeni bir plazma kaynağıdır. TVA ile oluşturulan deşarj, sputtering (püskürtme) tekniğinde olduğu gibi bir tampon gazı kullanılarak oluşmamaktadır. Bu nedenle oluşan deşarj yalnızca anot metali buharlarında meydana gelen saf metal buharı plazması olmaktadır. Bununla birlikte TVA deşarj oluşurken, elektrotların birbiri ile kontağı söz konusu değildir. Bu nedenle oluşan deşarj içinde makro parçacık bulunmaz. TVA deşarj katotun dışarıdan ısıtılması ile oluşmaktadır. Bu özellik TVA deşarjın dışarıdan kontrol altında tutulmasını da sağlamaktadır. Katot flamenti ısıtma akımının değiştirilmesi ile istenilen maksimum deşarj akımında TVA deşarj üretilebilmektedir.

TVA deşarjın akım voltaj karakteristiğinde, iki bölüm ortaya çıkmaktadır. Düşük akımlar bölgesinde akım ve voltaj hemen hemen doğru orantılı olarak artarken, elektrotlar arasına uygulanan voltajın belli bir değerinde akım hızlı bir şekilde artarken voltaj birden düşmektedir. TVA deşarjın akım voltaj karakteristiği, katot flamenti ısıtma akımı ve elektrotların birbiri ile bağlı pozisyonu ile değişmektedir.

TEŞEKKÜR

TVA sistemi ve Osmangazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Plazma Fiziği laboratuvarındaki tüm sistemlerin kurulmasında bize önderlik yapan Dr. Geavit MUSA'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akan T., Ekem N., Musa G. (2002): "Bakır Buharlarında Termiyonik Vakum Ark (TVA) Deşarjın Akım Voltaj Karakteristiğinin İncelenmesi", 21.TFD Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Akan T., Ekem N., Musa G. (2002): "Bakır Buharlarında Termiyonik Vakum Ark (TVA) Deşarjın Breakdown Voltajının İncelenmesi", 21.TFD Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Dorodnov A.M., Kuznetsov A.N., Petrosov V.A. (1979): "New Anode Vapor Vacuum Arc with A Permanent Hollow Cathode", Sov. Phys.-Tech. Phys. Lett. Vol. 5, p. 418.
- Ehrich H. (1988): "The Anodic Vacuum Arc. I. Basic Construction And Phenomenology", J.Vac.Sci.Technol., A 6(1), p. 134.
- Hamilton H.D. (1967): French Patent No. 1496697.
- Lafferty J.M. (1980): "Vacuum Arcs.Theory and Application", Wiley, NewYork.
- Musa G. (1992): "Discharges In Metal Vapors", Romanian Reports In Physics, vol. 44, no. 9-10, p. 917.
- Musa G., Baltog A., Popescu A., Betiu N., Mustata I. (1986): "Electrical and Spectral Characteristics Of A Heated Cathode Discharge In Metal Vapors", Contrib. Plasma Phys. Vol.26, p.171
- Musa, G., Betiu, N., Mustata, I., Baltog, A. ve Popescu, A. (1984): "Heated Cathode Arc In Vacuum Developed In The Vapors Of The Heated Anode", Proc. Xıth Int. Symp. On Discharges And Insulation In Vacuum, Berlin, p. 229 (Unpublished).
- Musa G., Ehrich H., Mausbach M. (1994): "Studies On Thermionic Cathode Anodic Vacuum Arcs", J.Vac.Sci.Technol., A12(5), p. 2887.
- Musa G., Ehrich H., Schuhmann S. (1997): "Pure Metal Vapor Plasma Source with Controlled Energy of Ions", IEEE Trans. On Plasma Science, Vol. 25, no.2, p. 386.
- Raizer, Y.P. (1991): "Gas Discharge Physics", Springer-Verlag.Berlin.
- Randhawa H. (1988): "Cathodic Arc Plasma Deposition Technology", Thin Solid Films, vol. 16, p. 175.
- Sayenko V.A., Koloniets N.F., Mashtaliv N.N. (1983): Proceedings Of The 16th ICPIG, Düsseldorf (Unpublished).
- Snaper A.A. (1971): U.S. Patent No. 3625848.