

## DEMİR DIŞI METAL MALZEMELERDEN DÖVME YÖNTEMİ İLE EL ALETİ ÜRETİMİ

Aykut Eren<sup>1</sup>, İbrahim Aydın<sup>2\*</sup>

### ÖZET

Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan el aletleri genellikle çelik malzemeden yapılmaktadır. Talaşlı işlem, taşlama, sürtünme, darbe vb. sonrası çelik malzemelerin yüzeylerinde potansiyel farklılıklardan dolayı kıvılcım oluşur. Doğal gaz enerji santralleri, petro kimya tesisleri, plastik hammadde üretim tesisleri, solvent ve akaryakıt depolama ve dolum tesisleri, benzin istasyonları, kömür madenleri, petrol rafineleri gibi yanıcı-parlayıcı, patlayıcı ortamlarda can güvenliği açısından kıvılcım oluşumu istenmez. Bu çalışmada da; Kıvılcım çıkarmaz malzeme olarak en çok kullanılan, Cu-Al (Alüminyum Bronzu) ve Cu-Be (Berilyum Bronzu) alaşımlarını sıcak dövme yöntemi ile şekillendirerek Yıldız Çakma Anahtar El Aleti üretimi yapılmıştır. Sıcak dövme yöntemi ile üretilen anahtarlara, farklı ısıl işlem metotları uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra mikro yapı incelemeleri, çekme testi, çentik darbe testi, sertlik testleri için numuneler hazırlanmış ve incelenmiştir. Testler sonucunda en iyi mekanik ve metalürjik özelliklere sahip ürünlere; kıvılcım çıkarmazlık testi, SEM mikroyapı inceleme ve EDS analizi, Ansys yapısal analiz çalışmaları yapılmıştır. Bütün testler sonrasında kıvılcım çıkarmayan (Alüminyum Bronzu ve Berilyum Bronzu) malzemeden sıcak dövme yöntemi ile çelik malzemeye en yakın mukavemet değerlerine sahip, el aleti üretimi parametreleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum Bronzu, Berilyum Bronzu, El aleti, Isıl İşlem, Kıvılcım Çıkarmaz, Sıcak Dövme.

## HAND TOOLS PRODUCTION FROM NON-FERROUS METALS BY FORGING METHOD

### ABSTRACT

Hand tools widely used in the world are usually made of steel material. Sparking occurs due to potential differences on the surfaces of steel materials after machining, grinding, friction, impact etc. Spark formation is not desired in terms of safety in flammable, explosive environments such as natural gas power plants, petro chemical plants, plastic raw material

<sup>1</sup>İzeltaş El Aletleri A.Ş. Kemalpaşa Cad. No: 303 Işıkkent/İzmir, Tel: 0 (232) 472 13 75/1129, Fax: 0 (232) 472 13 78, aykut.eren@izeltas.com.tr

<sup>2</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi Manisa Meslek Yüksek Okulu Şehitler Mahallesi Mehmetçik Cad. No:2/1 Şehzadeler/Manisa, Tel: 0 (236) 234 44 61/1989, Fax: 0 (236) 234 44 51, [ibrahim.aydin@cbu.edu.tr](mailto:ibrahim.aydin@cbu.edu.tr) \*İletişimden sorumlu yazar

production facilities, solvent and fuel storage and filling facilities, petrol stations, coal mines, oil refineries. In this study; Slugging Ring Wrench Hand Tool was produced Cu-Al (Aluminum Bronze) and Cu-Be (Beryllium Bronze) alloys, which are most commonly used as non-spark materials, by hot forging. Different heat treatment methods have been applied to the Wrenches produced by the hot forging method. After these processes, specimens were prepared and examined for microstructure studies, tensile test, notch impact test, hardness test. Products with the best mechanical and metallurgical properties as a result of tests; Non-Sparking test, SEM microstructure analysis and EDS analysis, Ansys structural analysis studies were performed. After all tests, the parameter of hand tool production which has the closest strength values to the steel material by hot forging method which does not spark (Aluminum Bronze and Beryllium Bronze) is determined.

**Keywords:** Aluminum Bronze, Beryllium Bronze, Hand Tools, Heat Treatment, Non-Spark, Hot Forging.

## 1. GİRİŞ

Çelik en genel anlamda demirin karbonla düşük oranlarda yaptığı alaşımdır. Çelik malzemeler hem dökülebilir hem de dövülebilirdir. Çelik malzemelerden sıcak dövme yöntemi ile yapılan el aletleri, ısı işlem sonrası yüksek mekanik özelliklere (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, burulma momenti, sertlik, darbe ve aşınma direnci) sahip olurlar. Yüksek mekanik özellikler sayesinde el aletlerinin kullanım ömürleri uzun olmaktadır. Fakat her zaman her ortam için bu özellikler yeterli olmayabilir. Özellikle patlayıcı, parlayıcı ve kolay yanıcı maddelerin işlendiği, depolandığı ve taşındığı yerlerde, çelik el aletleri ile yapılacak ani mekanik müdahaleler ile kıvılcım çıkma ihtimalinin yüksek olması, patlamalara neden olabilir. Bu ortamlarda kıvılcım çıkarmayan el aletlerinin kullanılması yasalar tarafından zorunlu hale gelmiştir.

Dünya üzerinde kıvılcım çıkarmaz malzeme olarak en çok kullanılanlar Alüminyum bronzu (Cu-Al) ve Berilyum bronzu (Cu-Be) olarak tabir ettiğimiz bakır alaşımlarıdır. Bu iki malzemenin kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri, diğer demir dışı metallere göre akma-çekme mukavemeti, darbe ve aşınma dirençlerinin, sertliğinin yüksek olmasıdır. Kıvılcım çıkarmama özelliğinin yanı sıra bakır ve bakır alaşımları çelik malzemeye göre daha iyi korozyon direncine sahiptir.

### Alüminyum bronzu;

Bakırın alüminyumla yaptığı alaşımlara “alüminyum bronzları” adı verilir (Galip,1970). Bu bronzlar %3-13 arasında alüminyum içerirler. Yaklaşık %9 alüminyuma kadar plastik şekillendirilmeye uygundurlar (Smith,1999). Alüminyum bronzlarının avantajları; Üstün mukavemet ( Bu özelliği düşük alaşımlı çeliklerin özelliğine benzer). Üstün korozyon direnci (Paslanmaz çeliklerin bile iyi yetersiz kaldığı deniz suyu ve benzer ortamlarda alüminyum bronzları tercih edilir). Yüksek sıcaklıklar da özelliklerini koruyabilme. Yüksek yorulma dayanımı (Bu da uzun ömürlü çalışma sağlar). Oksidasyon dayanımı. Döküm, dövme ve işleme kolaylığı. Yüksek sertlik ve aşınma dayanımı. İyi kaynak edilme özeliğidir (Koçak, 2013).

Korozyon direncinin yüksek olması yüzeylerinde meydana gelen  $Al_2O_3$  tabakasına bağlıdır (Smith,1999).

Alüminyum bronz, % 5 alüminyum bileşiminde altın sarısı renktedir. % 10 alüminyum bileşiminde sarımtırak renktedir. Endüstriyel alanda en fazla kullanılan % 4 - % 12 alüminyum, % 88 - % 96 bakır alaşımının ergime noktası  $1010\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $1040\text{ }^{\circ}\text{C}$ , yoğunluğu  $8,2\text{ kg/dm}^3$  dür. Bu bileşim aralığındaki alüminyum bronzları çok iyi mekanik özellikler göstermektedir. Alüminyum bronzunun mekanik özellikleri, alaşımda bulunan alüminyum miktarına bağlıdır. Alüminyum miktarının artması sertliği artırır fakat sünekliği azaltır. Alüminyum bronz ısıtılma tabi tutulabilir.

Alüminyum bronzlarına  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  'de ısıtıl işlem uygulandığında çekme dayanımı % 25 - % 30 arasında artar. İçerisinde % 10 alüminyum bulunan, alüminyum bronz  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  'deki ısıtıl işlemden sonra yavaş soğutulularak sünekliği artırılabilir. (Pecheux,1931).

Bakır-alüminyum diyagramının (Şekil 2.1.)  $\beta$  fazı katı eriyik'i demir-karbon diyagramının  $\gamma$  (austenit) fazına tekabül eder ve  $\alpha + \gamma_2$  ötektoidi, çeliklerin ferrit( $\alpha$ ) + sementit ( $Fe_3C$ ) ötektoidiyle aynıdır. Yapısal dönüşümlerdeki bu benzerliklerin sonucu olarak % 10 alüminyumlu bir bronz, çeliğinkine benzer şekilde ısıtılma işlemi (martensitik dönüşüm) tabi tutulabilir. Bu sayede iyi bir mukavemet, sertlik ile sünekliğin en iyi kombinasyonu elde edilebilir (Eruslu,Altınışoğlu,Taptık,1990;Yılmaz,Şen,1996;Burhan,1990).

% 10 alüminyumlu bir bronz ele alalım; bu, yavaş olarak oda sıcaklığına soğutulduğunda tamamen  $\alpha$  ve  $\gamma_2$  fazlarından ibaret olacaktır. Yeniden ısıtılacak olursa  $\alpha + \gamma_2$  ötektoidi,  $565\text{ }^{\circ}\text{C}$  ötektoid sıcaklığına varıldığında,  $\beta$  katı eriyik'ine dönüşecektir; sıcaklık daha da arttığında  $\alpha$  fazı,  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında yapı tamamen  $\beta$  katı eriyik'inden ibaret olana kadar tutulur. Bu sıcaklıktan itibaren suda su verme,  $\beta'$  fazından ibaret bir yapı vardır. Çeliklerde martensit'in olduğu gibi bu, bir denge fazı olmadığından denge diyagramında gözükmez.  $\beta$  fazı, martensit gibi sert ve gevrek olup fiilen mikro yapı görünümü olarak ona çok benzer.  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  'de bu  $\beta'$  fazının menevişlenmesi bir ince  $\alpha$  ve  $\gamma_2$  fazları kümesinin çökmesini sonuçlandırır ki bu da çelikler deki sorbite çok benzer (Burhan, 1990).

#### Berilyum bronz;

%1-3 arasında berilyum içeren bronzlar bakır alaşımları içinde en yüksek mukavemete sahip ve en pahalı alaşımlardır. Çökme sertleşmesi ile dayanım kazanırlar.  $750-800\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında solüsyona alınır ve hızlı su vermenin ardından  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  de çökme işlemi yapılır. Çekme dayanımı değeri  $1380\text{ MPa}$  ve sertlik değeri  $40\text{ HRC}$  ye kadar yükselebilir. Yorulma mukavemeti, ısı iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma direnci istenen yerlerde kullanılır. Berilyum içeriği arttıkça sertlik değerlerinde artış görülürken, iletkenlik değerlerinde düşüşler olur. [2, 5, 8]. Bakır içerisinde berilyum çözünebilirliği  $866\text{ }^{\circ}\text{C}$  de % 2.7,  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  de ise % 0,25 civarındadır (Şekil 2.1.9.). Bu nedenle berilyum-bakır alaşımları iki grup içerisinde incelenir (Komaç,2003).

Birinci grup berilyum bronzları; % 0,75 ve daha düşük berilyum içeren bronzlardır. % 1 altında berilyum çökeltme sertleştirilmesi için uygun değildir. Fakat bu alaşımlara nikel (Ni) ve

kobalt (Co) ilave edilerek, % 0.25 berilyum alaşımının bile çökmesi sağlanır. Berilyumca zengin diğer gruba göre sertlikleri daha düşüktür, fakat elektrik ve ısı iletkenlikleri çok yüksektir (Komaç,2003;Copper,1962).

İkinci grup berilyum bronzları; % 1.5 ile % 2.7 berilyum içeren gruptur. Bu gruba “Normal berilyum bronz” denir. Yüksek sertlik, aşınma direnci ve mukavemete sahiptirler. Kobalt ve nikel eklenmesi diğer gruba nazaran daha azdır. Berilyum çökme sertleştirmesinde mukavemet ve sertlik artışını sağlar (Copper,1962)

Bakır berilyum alaşımlarının ısıl işlemi çok yönlü bir anahtar gibidir. Sadece soğuk deformasyon ile mukavemeti artan diğer ana bakır alaşımlarına nazaran, dövme bakır-berilyum alaşımları soğuk şekillendirme ve çökelti sertleştirmesi kombinasyonu ile çok yüksek sertlik, iletkenlik ve mukavemet değerlerine ulaşabilir (www.materio.com,2011)

Çökeltme sertleştirmesi üç kademedен oluşmaktadır. İlk kademe Solüsyon tavlama; Solüsyon tavlama kısmın da aşırı doymuş bir katı eriyik çözeltisi oluşturmak için, yüksek mukavemetli berilyum bakır 760-800 °C arasına, yüksek iletkenliğe sahip berilyum bakır 900-950 °C arasına çıkartılıp burada bekletilir. Tutma süresi 1 inç başına ½ ile 1 saat arasındadır. Alfa bakırın içinde berilyum çözünürlüğü solüsyona alma sıcaklığında artacak ve berilyumca zengin aşırı doymuş alfa fazı oluşur.

İkinci kademe hızlı soğutma; Sıcaklık azaldıkça alfa bakırın içinde berilyum çözünürlüğü de azalır. Aşırı doymuş alfa katı eriyi oda sıcaklığına yavaş olarak soğutulur ise tekrardan  $\alpha+\gamma$  fazları çökelecektir. Aşırı doymuş çözelti suda hızlı soğutulduğunda ise çökme gerçekleşemez ve oda sıcaklığın da kararsız bir yapı oluşur.

Üçüncü kademe yaşlandırma; Yaşlandırma doğal yaşlandırma ve suni yaşlandırma olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal yaşlandırmada oda sıcaklığında bulunan aşırı doymuş alfa bakırını, oda sıcaklığında uzun süre tutularak intermetalik fazların çökmesi işlemidir. İşlem süresi uzun olduğundan çok tercih edilmemektedir. Suni yaşlandırma işleminde aşırı doymuş alfa bakırının fırın içerisinde oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta tutulması ve intermetalik fazların matris içerisinde çökmesi işlemidir. Suni yaşlandırma sıcaklıkları yüksek mukavemetli bakır berilyum için 260-400 °C ve yüksek iletkenlikli bakır berilyum için 425-565 °C dir. Oluşan intermetalik çökelti fazları bakırca zengin matris içerisinde dislokasyon hareketlerini engelleyerek sertleşmeyi sağlarlar. Berilyumlu çökelti fazlarına “beryllide” adı verilmektedir. Çökeltmenin ilk aşamasında, homojen çekirdeklenme ile Guinier-Preston (GP) zonları (bölgeleri) oluşur. Matrisi ile uyumlu ara yüzeye sahip olan bu fazlar, sertliğin artmasına önemli bir katkıda bulunur. GP zonları, aşırı doymuş alfa bakır katı çözeltisindeki küçük çökeltilerdir. Bu zonlar, yüksek konsantrasyonda berilyum atomları içerir. GP bölgelerinin oluşumu genellikle, özelliklerde bir değişiklik ile bağdaştırılır. Yaşlandırma sertleşmesi sırasında tav etkisi altında GP zonların dan, uyumlu birincil metastabil  $\gamma'$  çökeltileri çökler. Bu alaşımların dayanımı matris ve büyüyen çökelti arasında bir yüzeyin gelişiminin bir sonucu olarak artmaktadır. Bakır berilyum alaşımlarının çok fazla yaşlandırılmasından kaçınılır. Dengedeki  $\gamma$  fazının çökmesi halinde alaşımda yumuşama gerçekleşir [www.materio.com,2011;ASM,1992;Altunpak,2010].

## 2. MATERYAL VE METOT

Deneyisel çalışmada kıvılcım çıkarmayan Yıldız çakma anahtar üretimi için, Cubral 4M alüminyum bronz ve CubroB2 berilyum bronz malzemeler kullanılmıştır. Malzemeler 50x300mm ebatlarında yuvarlak olarak alınmıştır. Yıldız çakma anahtar üretimi ve deneyler için numune hazırlamalar İzeltaş El Aletleri A.Ş. de yapılmıştır.

**Çizelge 1.** Cubral 4M'in kimyasal kompozisyonu.

Element	Al	Ni	Fe	Mn	Si	Pb	Zn	Sn	Cu
%	9,96	4,46	3,96	0,84	0,121	0,014	0,143	0,045	Kalan

**Çizelge 2.** CubroB2'nin kimyasal kompozisyonu.

Element	%Be	%Co	%Fe	%Ni	%Cu
%	0,196	0,23	0,025	0,23	Kalan

Dövme işlemi; Her iki malzemeden 10'ar adet numune üretim gerçekleştirilmiştir. Alüminyum bronz malzemeler 900 °C'ye, berilyum bronz malzemeler 720 °C'ye ısıtılmıştır. 75 kg şahmerdan çekicinde ön şekillendirme ve ardından 1600kg'lık Lasco marka dövme presinde kapalı kalıpta sıcak şekillendirme yapılmıştır. Dövme işlemi sonrası numunelerin çapak kısımları alınıp, yıldız anahtar formu için broşlama işlemi yapılmıştır.



**Şekil 1.** Yıldız çakma anahtar (Eren, 2016)

Alüminyum bronzdan üretilen yıldız çakma anahtar numuneleri, elektrikli fırında 860 °C de her 1" kalınlık için 1 saat bekletilmiştir. Merkezine kadar ısınan numune ürünler, fırından çıkarılarak 50 °C sıcaklığındaki suda hızlı bir şekilde soğutulmuştur.

Martenzitik dönüşüm ile sertleştirilen alüminyum bronz yıldız çakma anahtar numunelerine, 400-515-600-650-675-700 °C ler de ikişer saat meneviş işlemi yapılmıştır. Meneviş işlemi sonunda fırından çıkarılan ürünler durgun havada soğumaya bırakılmıştır.

Berilyum bronzdan üretilen yıldız çakma anahtar numuneleri, elektrikli fırında 800 °C de her 1" kalınlık için 1 saat bekletilmiştir. Solüsyona alma işlemi sonrasında numune ürünler, fırından çıkarılarak 50 °C sıcaklığındaki suda hızlı bir şekilde soğutulmuştur.

Aşırı doymuş berilyum bronz numune ürünleri ilk olarak 250 °C de 3 saat bekletildikten sonra fırın 305 °C ye ayarlanmış, bu sıcaklıkta da 3 saat durmuştur. İşlem sonunda fırından çıkarılan ürünler durgun havada soğumaya bırakılmıştır.

Alüminyum bronz yıldız çakma anahtar numunelerinin sertleştirme ve meneviş işlemleri sonrasında, berilyum bronz yıldız çakma anahtar numunelerinin suni yaşlandırma sonrasında, 2,5mm çapındaki çelik bilyalı uç ile 187,5 kg ağırlıkta Brinell sertlik değerlerine bakılmıştır. Yıldız çakma anahtar ürünün asıl malzemesi olan 31CrV3 çeliğinden üretilen ürünün de Brinell sertlik değerine karşılaştırma amacıyla bakılmıştır.

Hammadde, dövme ve ısıl işlem sonrası her iki malzemeden alınan numuneler, mikroyapı incelemeleri, SEM ve EDS analizleri için; P400, P800, P1000, P1200 ve P2000 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler 1µm'lik parlatma keçesi ve 1µm'lik elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır.. Parlatma işleminden sonra alüminyum ve berilyum bronz numunelerine dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi için; Alüminyum bronzuna 50 ml HNO<sub>3</sub> + 20 gr CrO<sub>3</sub> + 75 ml su, Berilyum bronzuna 20 ml NH<sub>4</sub>OH + 3-4 damla H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 10 ml su kullanılmıştır. Hazırlanan mikroyapıların incelemesi Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Nikon marka metal mikroskobu ile, SEM ve EDS analiz çalışmaları Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Jeol marka cihaz ile yapılmıştır.

Mikroyapı çalışmaları haricinde yapılan deneysel çalışmalar ; Her iki malzemeden ve çelik (31CrV3) malzemeden çekme ve çentik darbe numuneleri hazırlanarak mekanik olarak karşılaştırma yapılmıştır. Çekme testinde Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Schimadzu Autograph 100 kN çekme-basma cihazı kullanılmıştır.

Kıvılcım testi için Alüminyum ve berilyum bronzundan üretilen yıldız çakma anahtar numunelerinden, birer adet IEP Enerji Petrol Enstitüsü ne gönderilmiştir.

Ansys sonlu elemanlar yöntemi ile farklı malzemelerden üretilen 50mm yıldız çakma anahtarın, yapısal analiz hesaplamaları İzeltaş A.Ş. Ar-ge Merkezi Proje Yönetim Biriminde yapılmıştır. Ürünlerin üç boyutlu model çalışması yapıp, Ansys programına aktarılmıştır. Cu-Al, Cu-Be ve Çelik malzemenin çekme testi sonuçları ansys de tanımlanmıştır. Element kalitesi ortalama 0,84 olarak alınmıştır. Uygulanan maksimum yük, TS ISO 1711-1'e göre 2,512 N.m(MPa) dır. Ansys sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizde, çekme testinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Alüminyum bronzunun ansys analizi için, en optimum mekanik değerleri veren 650 °C deki meneviş sonu çekme testi verileri kullanılmıştır.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1 Sertlik Testi Sonuçları**

**Çizelge 3.** Sertlik testi sonuçları. (Hardness test results) (Eren,2016)

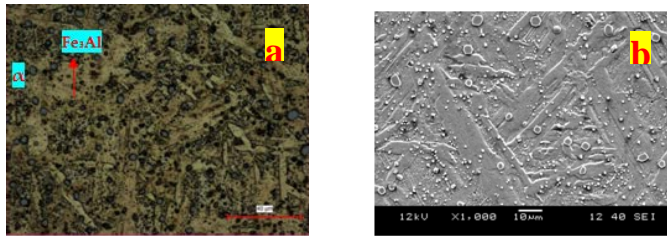
Malzeme	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme Sonrası Sertlik (HB)	Meneviş Sıcaklığı (°C) /Süre (Dak.)	Meneviş Sonrası Sertlik (HB)
31CrV3 (Çelik)	860 (yağ)	473-544	550/120	311-328
Cu-Al (Cubral 4M)	860 (Su)	317-336	400/120	285-311
			515/120	266-278
			600/120	255-258
			650/120	238-247
			675/120	210-231
			700/120	200-215
Malzeme	Solüsyon Alma Sıcaklığı (°C)	1.Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)/ Süresi(Dak.)	2.Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)/ Süresi(Dak.)	Yaşlandırma Sonrası Sertlik (HB)
Cu-Be (CubroB2)	800(Su)	250/180	305/180	317-345

Cu-Al (Cubral 4M) malzemenin sertleştirme ısı işlemi sonrası, sertliği 317-336 HB olarak ölçülmüştür. Meneviş sıcaklıklarının artırılması ile sertlik değeri 200-215 HB değerine kadar düşmüştür. Cu-Be (CubroB2) malzemenin Çökeltme sertlestirmesi sonrası, sertliği 317-345 HB olarak ölçülmüştür.

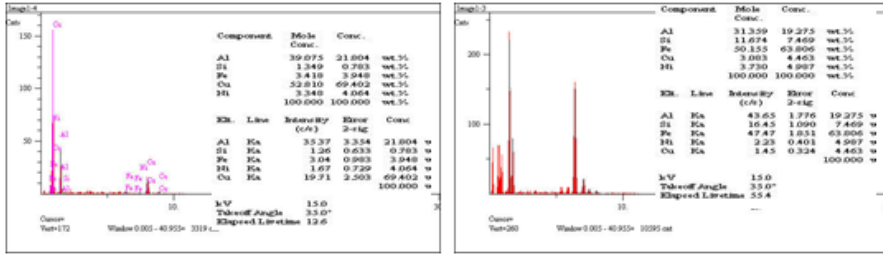
### 3.2 Mikroyapı İncelemeleri, SEM ve EDS Analizleri

#### Alüminyum bronzu:

% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 900 °C derece de 1 saat ısıtılıp kapalı kalıpta yıldız çakma anahtar formuna şekillendirilmesi sonrası Şekil 2 de mikroyapı ve SEM görüntüsü resimlenmiştir. Şekil 3 de EDS analiz sonuçları bulunmaktadır. Mikroyapı da dövme sonrası  $\alpha$  fazının dentritik bir yapıya dönüştüğü,  $\gamma_2$  yapısının varlığının daha az olduğu ve gri renkli  $Fe_3Al$  intermetalik çökeltileri görülmektedir.

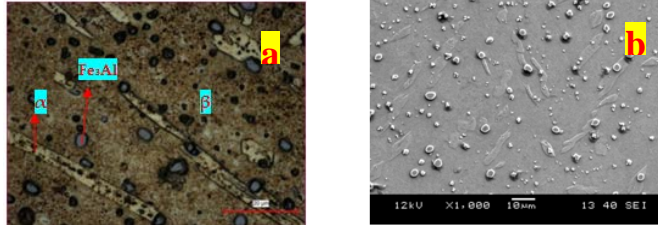


**Şekil 2.** 900 °C derecede dövme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a) 500x mikroyapı görüntüsü, b) 1000x SEM görüntüsü. (Eren, 2016)

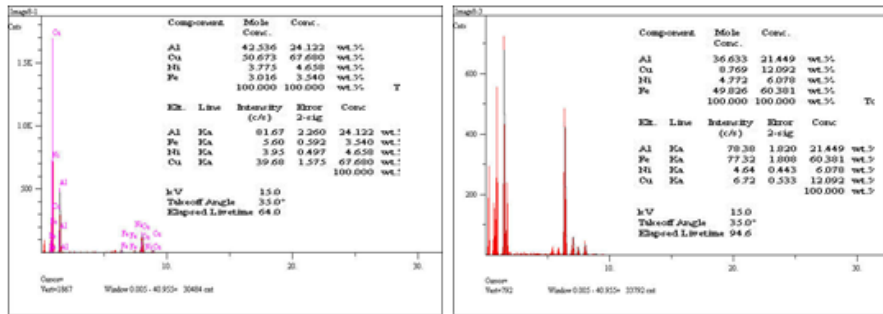


Şekil 3. 900 °C derecede dövme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) EDS analizleri. (Eren, 2016)

% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 860 °C derecede 1 saat ısıtıldıktan sonra su da hızlı soğutulması ile oluşan mikroyapı ve SEM görüntüsü Şekil 4 de resimlenmiştir. Şekil 5 de EDS analiz sonuçları bulunmaktadır. Matris fazı  $\beta'$  martenzit yapı olup, yapıda yumuşak  $\alpha$  tane yapısının ince uzun bir hal aldığı görülmektedir. Yapı içerisinde yine intermetalik çökeltmeler görülmektedir.



Şekil 4. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a) 1000x mikroyapı görüntüsü b) 1000x SEM görüntüsü. (Eren, 2016)

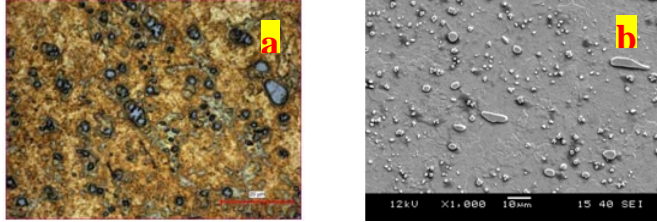


Şekil 5. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) EDS analizleri. (Eren, 2016)

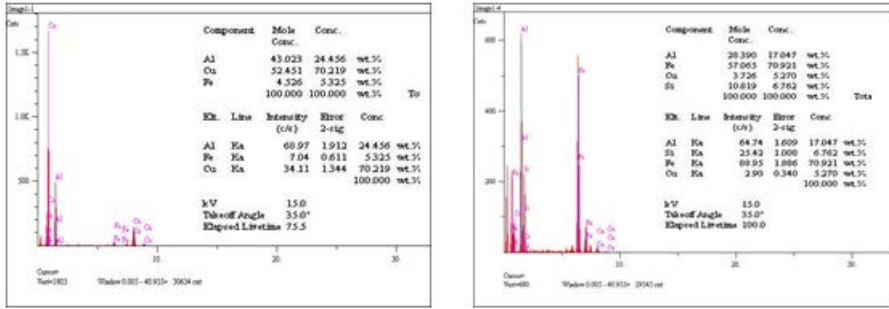
% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının sertleştirme sonrası 2 şer saat farklı meneviş sıcaklıklarında tutulması ile oluşan mikroyapı ve SEM görüntüleri Şekil 6, Şekil 8, Şekil 10 da



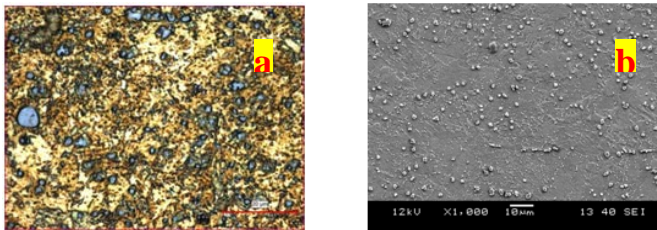
resimlenmiştir. Şekil 7, Şekil 9, Şekil 11 de ESD analizi sonuçları vardır. Artan meneviş sıcaklıkları ile yapıda  $\beta'$  martenzit yapısından ince taneli  $\alpha$  (açık renkli)+  $\gamma_2$  (koyu renkli) yapısının oluşumu görülmektedir. Özellikle 600 °C üzerinde  $\alpha$  yapısının büyümesi tokluk ve sünekliliği artırmıştır. SEM görüntülerinde İntermetalik çökeltilerin artan meneviş sıcaklıkları ile küçüldüğü gözlemlenmektedir.



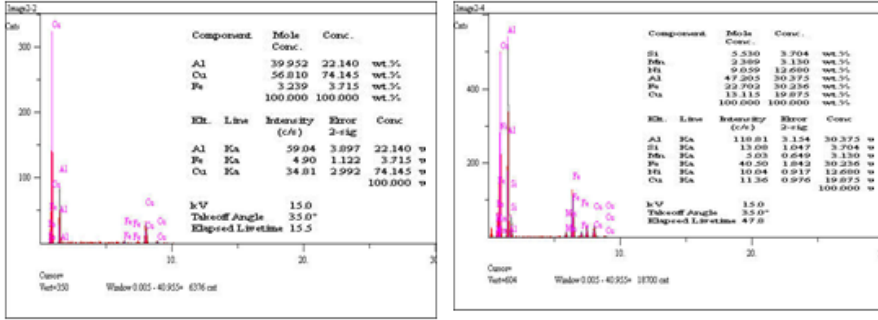
Şekil 6. 515 °C de menevişleme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)1000x mikroyapı görüntüsü b)1000x SEM görüntüsü. (Eren, 2016)



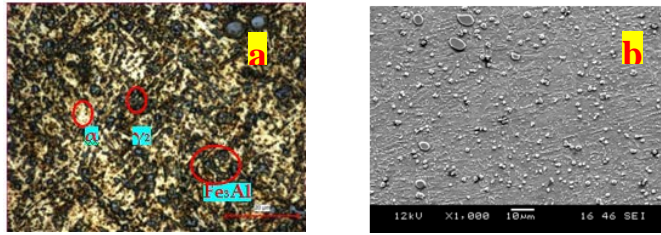
Şekil 7. 515 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) EDS analizleri. (Eren, 2016)



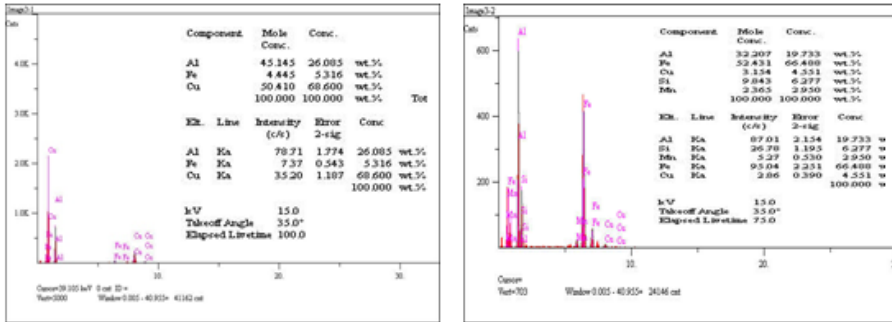
Şekil 8. 650 °C de menevişleme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)1000x mikroyapı görüntüsü b) 1000x SEM görüntüsü (Eren, 2016)



Şekil 9. 650 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) EDS analizleri. (Eren, 2016)



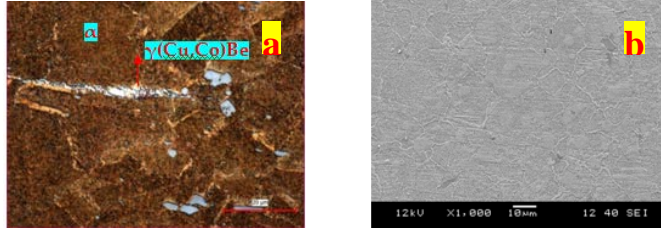
Şekil 10. 675 °C de menevişleme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)1000x mikroyapı görüntüsü b) 1000x SEM görüntüsü. (Eren, 2016)



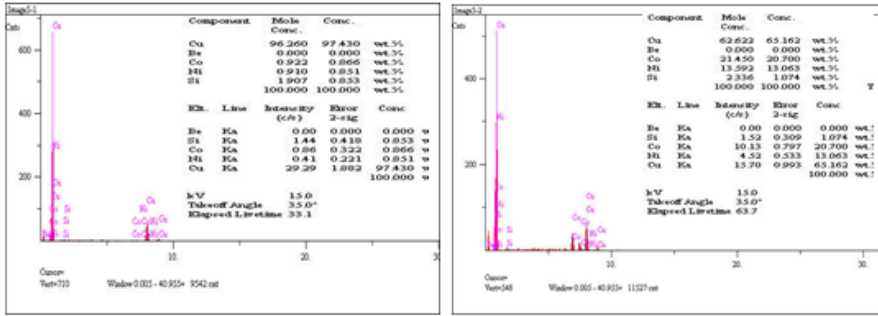
Şekil 11. 675 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) EDS analizleri. (Eren, 2016)

Berilyum bronzu:

%2 Be elementi içeren Cu-Be alaışımının 720 °C de 1 saat ısıtılıp kapalı kalıpta yıldız çakma anahtar formuna şekillendirilmesi sonrası mikroyapı görüntüleri ve SEM görüntüleri Şekil 12 resimlenmiştir. Şekil 13 de EDS analizi sonuçları bulunmaktadır. Dövme sonrası tanelerin incelindiği ve ikinci fazın dövme yönü boyunca uzandığı görülmektedir.

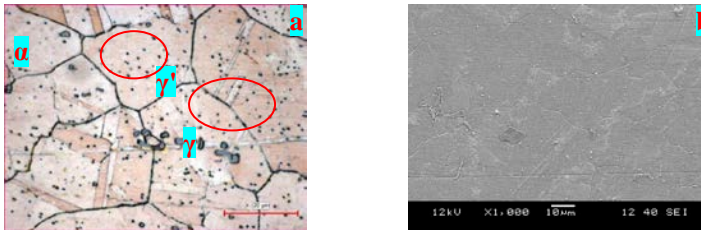


**Şekil 12.** 720 °C de dövülmüş CubroB2 (Cu-Be) a)1000x mikroyapı görüntüsü. b)1000x SEM görüntüsü (After forging at 720 °C, CuproB2 (Cu-Be) a) 1000x microstructure image, b) 1000x SEM image ) (Eren, 2016)

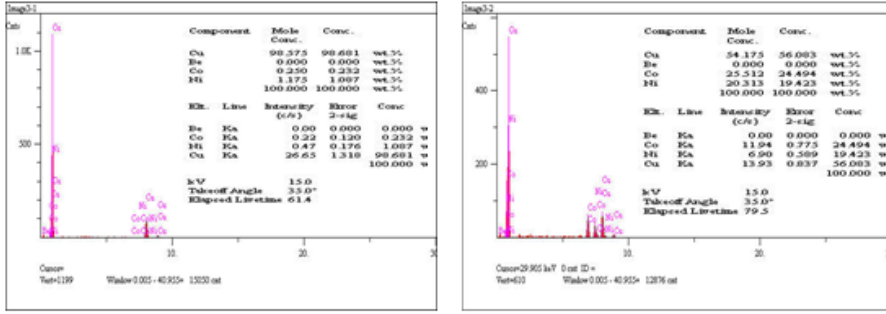


**Şekil 13.** 720 °C de dövme sonrası CubroB2(Cu-Be) EDS analizleri. (Eren, 2016)

%2 Be elementi içeren Cu-Be alaşımının 800 °Cde 1 saat bekletilerek çözeltiye alma işlemi yapıp hızlı soğutulan ve 250 °C de 3 saat, 305 °C de 3 saat suni yaşlandırma ısıl işlemi yapılan sonrası mikroyapı ve SEM görüntüleri Şekil 14 de resimlenmiştir. Şekil 15 de EDS analizleri bulunmaktadır. Çökeltme sertleştirme sonrası da Cobalt beryllide ( $\gamma'$ ) çökteltilerinin  $\alpha$  fazı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Tane sınırlarında az da olsa  $\gamma$  fazına da rastlanmıştır. Tane boyutunun da artış görülmüştür.



**Şekil 14.** 800 °C de 1 saat bekletilerek çözeltiye alma işlemi yapıp hızlı soğutulan ve 250 °C de 3 saat, 305 °C de 3 saat suni yaşlandırma ısıl işlemi yapılan CubroB2 (Cu-Be) malzemesinin a)1000x mikroyapı görüntüsü b)1000x büyütme SEM görüntüsü. (Eren, 2016)



**Şekil 15.** 800 °C de çözeltiyeye alma işlemi yapıldıktan sonra, hızlı soğutulup, 250 °C de 3 saat ve 305 °C de 3 saat suni yaşlandırma ısıl işlemi yapılan CubroB2 (Cu-Be) EDS analizleri. (Eren, 2016)

### 3.3 Çekme ve Çentik Darbe Testi Sonuçları

**Çizelge 4.** Çekme ve çentik darbe test sonuçları. (Eren, 2016)

Malzeme	Meneviş Sıcaklığı (C)	Sertlik (HB)	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Max. Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama	Çentik Darbe (J)
31CrV3 (Çelik)	550	311-328	902,3	1014,2	11	92
Cu-Al (Cubrol 4M)	400	285-311	328,9	501	1,13	3
	515	266-278	320,6	851	9	10
	600	255-258	250	768	11	14
	650	238-247	270	716	17	22
	675	210-231	200	717	16	24
700	200-215	150	685	17	26	
Cu-Be (CubroB2)	250	317-345	750	1027	10	55
	305					


Çelik malzemeden hazırlanan numunelerin sertlik, çekme mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama ve çentik darbe test sonuçlarına en yakın değerler, Cu-Be malzeme den yapılan numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca Cu-Al malzemenin yüksek sertlik değerlerinde, çentik darbe test sonuçlarının çok düşük ve malzemenin gevrek bir yapıya sahip olduğu da görülmektedir. Cu-Al malzemenin en optimum sonucunun, 238-247 HB sertlik, 270 N/mm<sup>2</sup> akma mukaveti, 716 N/mm<sup>2</sup> maximum çekme mukavemeti, %17 uzama, 22 J çentik darbe direnci ile 650 °C de olduğu anlaşılmaktadır. Cu-Al malzemenin, Cu-Be gibi çelik malzemenin sertlik, akma ve çentik darbe değerlerine paralel özellikler gösteremeyeceği görülmüştür.

### 3.4 Kıvılcım Testi Sonuçları

Cu-Be ve Cu-Al malzemelerden üretilen yıldız çakma anahtarlara, 25/05/2016 tarihinde IEP Enerji Petrol Enstitüsünün yaptığı, IEP.Rp.Ex.10-952 rapor numaralı, kıvılcım çıkarmazlık testine göre;

Cu-Be ve Cu-Al malzemelerinin kıvılcım çıkarmama kriterlerine, EN 13463-1 Potansiyel patlayıcı ortamlar için elektrikli olmayan donanımlar - Bölüm 1: Temel metot ve kurallar göre uygunluğu standart'ına göre bakılmıştır. Her iki malzemenin de standart'ın belirtmiş olduğu kimyasal kompozisyon değerlerini karşıladığı görülmektedir

Cu-Be ve Cu-Al malzemelerden yapılan yıldız çakma anahtarlar EN 1127-1 Patlayıcı ortamlar - Patlamayı önleme ve korunma - Bölüm 1: Temel kavramlar ve metodoloji standart'ının belirttiği metotlar ile kıvılcım testi yapılmıştır. Kıvılcım testi sonucunda her iki üründe kıvılcım testinden geçmiştir.

IEP  ORG		IEP Enerji Petrol Enstitüsü MUAYENE VE DENEY RAPORU	Rapor No : IEP.Rp.Ex.10-952 Rapor Tarihi : 25/ 05 / 2016
EN 1127-1 Ek A:  Kıvılcımlanma / Arklanma testi	<b>Ek A :</b> a) Kullanıldıklarında münferit kıvılcımlar oluşturabilen aletler (tomavidalar, İngiliz anahtarları, darbeli tomavidalar gibi), b) Kesme veya taşlama sırasında kullanıldıklarında bir kıvılcım sağanağı oluşturan aletler.  Bölge 0 ve Bölge 20'de, kıvılcım oluşturabilen hiç bir aletin kullanılmasına izin verilmez. Deney cihaz taşı özellikleri ; - Metal bileme taşı çelik (Çelik – 1 ve 2 kodlu anahtar) - Normal zımpara taşı (Alaşımında Al oksit, silisyum carbür, Elmas,CBN karışımları olan zımpara taşı - 1 ve 2 kodlu anahtar)	-Devir sayısı (1450- 2900) d/dk. -Darbeli sistem için (900-1450) d/8k  Çelik ve normal zımpara taşı ile 10 dk süre ile yapılan testlerde herhangi bir kıvılcımlanma olmadığı görülmüştür.	

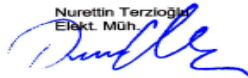
#### DEĞERLENDİRMELER :

İZELTAŞ İzmir El Aletleri San. Ve Tic. A.Ş. tarafından elden teslim edilen Cu-Be-1 kodlu ve Cu-Al- 2 kodlu anahtarlara ait yapılan deney ve değerlendirme sonuçları uygun olup raporda belirtilmiştir.

Risk değerlendirme EN 1127-1 ve 2 ye göre yapılabilir.

#### Deneyi Yapan/Yapanlar :

Adı Soyadı  
Ünvanı  
İmza

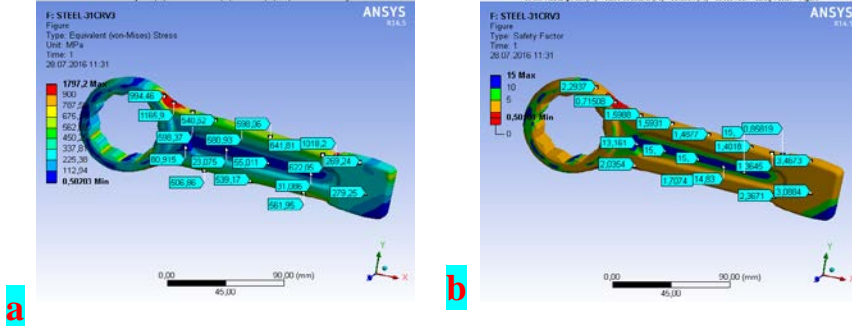
Nurettin Terzioğlu  
Elektr. Müh.  


Tufan Ertugrul  
Mak. Müh.  

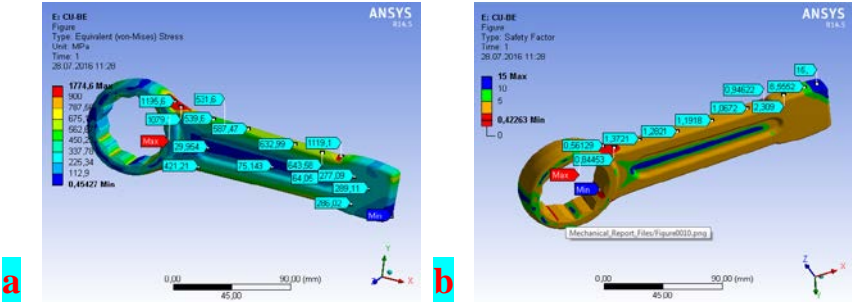



Şekil 16. Kıvılcım testi sonucu. (Eren, 2016)

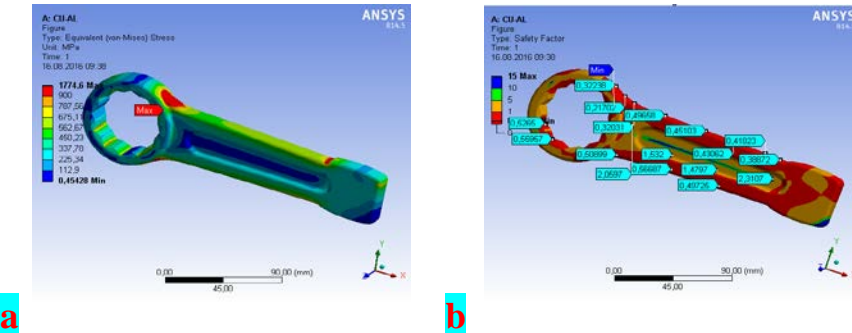
### 3.5 Ansys Analizi Sonuçları



Şekil 17. a- 31CrV3 çeliği ile üretilen yıldız çakma anahtarının üzerindeki gerilim dağılımı. b- 31CrV3 çeliği ile üretilen yıldız çakma anahtarının maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı. (Eren, 2016)



Şekil 18. a- Cu-Be (CubroB2) ile üretilen yıldız çakma anahtarının üzerindeki gerilim dağılımı. b- Cu-Be (CubroB2) ile üretilen maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı. (Eren, 2016)



Şekil 19. a- Cu-Al (Cubrol 4M) ile üretilen maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı. b- Cu-Al (Cubrol 4M) ile üretilen yıldız çakma anahtarının üzerindeki gerilim dağılımı. (Eren, 2016)

Ansys analizi sonrasında; Yıldız Çakma Anahtarın geometrik şeklinden dolayı, anahtarın en zayıf kısımları radyuslu ve işlenen kısımlardır. Güvenlik faktörü sıralamasın da ; Çelik malzeme 0.5, Cu-Be malzeme 0.42 ve Cu-Al malzeme 0.15 olarak analiz edilmiştir. Cu-Al alaşımından yapılan yıldız çakma anahtarın mekanik zorlanmalara dayanımı Çelik ve Cu-Be alaşımına göre daha azdır ve daha çabuk deformasyona uğrayacaktır.

#### 4. SONUÇ

Cu-Al ve Cu-Be malzemeden sıcak dövme yöntemi ile 50 mm yıldız çakma el aleti üretimi başarılı bir şekilde yapılmıştır. TS ISO 1711-1 Standart'ının belirttiği çelik malzemenin sertlik değerlerine ve mekanik test sonuçlarına, Cu-Be dan üretilen ürünler ile ulaşılabilmektedir. Fakat istenilen şartlara ve mekanik özellik değerlerine bağlı olarak, başka el aletleri üretiminde Cu-Al malzemede kullanılabilir. Cu-Al ve Cu-Be malzemeden sıcak dövme yöntemi ile kıvılcım çıkarmayan el aleti üretimi yurt dışında yapılmaktadır. Türkiye de sıcak dövme yöntemi ile kıvılcım çıkarmayan el aleti üretimi yapılmamaktadır. Türkiye pazarında yerli üretimin olması, fiyatın yabancı markalara göre daha avantajlı sunulabilmesini sağlayacaktır. Böylelikle dışarı çıkan sermaye yurt içinde kalacaktır.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1]. B. Galip, Malzeme, MEB Yayınları, Ankara, (1970)
- [2]. Principles of Materials Science and Engineering William F. Smith (1999)
- [3]. KOÇAKH. , Bakır ve Bakır Alaşımaları, Metalurji Yüksek Mühendisi, Bolokur Yayınları, İstanbul, 4. Baskı, 2013
- [4]. Pecheux, H., Encyclopedie Industrielle, Precis de Metallurgie, 4o Edition, 604- 608, Fransa, (1931).
- [5] Eruslu, N., Altmışoğlu, A., Taptık, Y., Alaşım Ders Notu, İ.T.Ü. Maslak, İstanbul, 130-137, (1990).
- [6]. Yılmaz F. Şen U. Alaşımaların Yapı ve Özellikleri, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No:8, 92-95, Sakarya, (1996).
- [7]. Burhan O., Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, 1990.
- [8]. Komaç O. Ş., Alaşımlandırma Ders Notu, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Eskişehir, 2003.
- [9]. Copper Development Association, Beryllium Copper CDA Publication No 54, 1962.

[10]. [www.materion.com](http://www.materion.com), Heat treating copper beryllium parts, AT0015/0311©2011 Materion Brush Inc.

[11]. ASM Metals hand book volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, 10th Edition, Second printing, 1992.

[12]. Altunpak,Y., "Wear behaviour of aged Cu-Be alloy under electrical sliding", Scientific Research and Essays, 5(19), 2997-3002, (2010).

[13]. EREN A., Demir Dışı Metal Malzemelerden Dövme Yöntemi İle El Aleti Üretimi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Manisa 2016