

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

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

Aykut EREN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN**



MANİSA-2016

TEZ ONAYI

Aykut EREN tarafından hazırlanan "**Demir Dışı Metallerden Dövme Yöntemi İle El Aleti Üretimi**" adlı tez çalışması 12/12/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendislik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Saim KURAL

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Recep HALICIOĞLU

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Aykut EREN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	IV
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ	1
2. BAKIR VE ALAŞIMLARI	2
2.1. Bakır Alaşımları	3
2.1.1. Bakır Çinko Alaşımları (Pirinçler)	3
2.1.2. Kalay Bronzları (Geleneksel Bronzlar)	4
2.1.3. Silisyum Bronzları.....	4
2.1.4. Bakır Nikel Alaşımları (Kupronikeller)	4
2.1.5. Arsenikli Bakır	5
2.1.6. Gümüşlü Bakır	5
2.1.7. Kurşun, Tellüryum, Selenyum İçeren Bakır	5
2.1.8. Alüminyum Bronzları.....	5
2.1.8.1. Alüminyum Bronzlarına Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	6
2.1.8.2. Alüminyum Bronzlarının Faz Diyagramı	8
2.1.8.3. Alüminyum Bronzlarının Çeşitleri	9
2.1.8.4. Alüminyum Bronzlarının Dövülebilirliği, Isıl İşlemi ve İşlenmesi	10
2.1.9. Berilyum Bronzları	16
2.1.9.1. Berilyum Bronzları Grupları.....	16
2.1.9.2. Berilyum Bronzunun Dövülmesi	18
2.1.9.3. Berilyum Bronzunun Isıl İşlemi	20
3. ALÜMİNYUM VE BERİLYUM BRONZLARINDA KIVILCIM ÇIKARMAYAN EL ALETİ ÜRETİMİ	24
4. KIVILCIM OLUŞUMU VE ATEX.....	26
4.1 Kivilcim Oluşumu.....	26
4.2 ATEX	26
4.2.1. Exproof	27
4.2.2. Patlama ve Patlayıcı Ortam Nedir?	29
4.2.3. Patlayıcı Ortamların Sınıflandırılması.....	30
5. DENEYSEL KISIM.....	33
5.1. Malzeme Özellikleri.....	33
5.2. Deney Akış Şeması	34
5.3. Dövme	35
5.3.1. Şahmerdan Ön Şekillendirme.....	35
5.3.2. Sıcak Dövme	36
5.4. Çapak Alma ve Diş Açma.....	38

5.5. Dövme Sonrası Deneysel Çalışmalar	39
5.5.1. Mikro Yapı İncelemesi	39
5.6. Isıl İşlem.....	41
5.6.1 Alüminyum Bronzunun Isıl İşlemi	41
5.6.2 Berilyum Bronzunun Isıl İşlemi	41
5.7. Isıl İşlem Sonrası Deneysel Çalışmalar	41
5.7.1. Sertlik Testi	41
5.7.2. Mikro Yapı İncelemesi	42
5.7.3. Çentik Darbe ve Çekme Testleri	43
5.8. SEM ve EDS Analizi İncelemeleri	45
5.9. Kırılma Testi	45
5.10. Ansys Analizi	46
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	47
6.1. Sertlik Testi Sonuçları.....	47
6.2. Optik Mikroskopta Mikroyapı İncelemeleri	48
6.2.1. Alüminyum Bronzunun Mikroyapı İncelemeleri	48
6.2.2. Berilyum Bronzunun Mikroyapı İncelemeleri	55
6.3.EDS Analizi İncelemeleri	58
6.3.1. Alüminyum Bronzlarının SEM Mikroyapı ve EDS Analizi İncelemeler	58
6.3.2. Berilyum Bronzlarının SEM ve EDS Analizi İncelemeleri	68
6.5. Çekme ve Çentik Darbe Testi Sonuçları.....	71
6.6. Kırılma Testi Sonuçları	72
6.7. Ansys Analizi Sonuçları.....	74
6.7.1. Çelik Malzeme (31CrV3) Sonuçları.....	74
6.7.2. Cu-Be Malzeme Sonuçları	77
6.7.3. Cu-Al Malzeme Sonuçları.....	79
7. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ.....	81
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Cu	Bakır elementi
Be	Berilyum elementi
Al	Alüminyum elementi
Cu-Al	Bakır alüminyum alaşımı
Cu-Be	Bakır berilyum alaşımı
α	Matris fazı
β	Ötektoid üstü intermetalik faz
β'	Bakır martenzit fazı
γ_2	Ötektoid altı intermetalik faz
$\alpha + \gamma_2$	Ötektoid faz
γ	Bakır berilyum ötektoid altı kararlı intermetalik faz
γ'	Bakır berilyum geçiş intermetalik faz
GP	Guinier-Preston
ATEX	ATmosphères EXplosives (Patlayıcı ortamlar)
Ex	Exproof (Alev çıkarmaz)
EDS	Elektron Dağılım Spektroskopisi (Electron Dispersive Spectroscopy).
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kıvılcım çıkarmayan el aleti çeşitleri; a) Cu-Be, b) Cu-Al malzemeden üretilen.	1
Şekil 2.1.8.2.1. Cu-Al Denge diyagramı [11]	8
Şekil 2.1.8.4.1. %9,5 üzeri Al içeren alüminyum bronz [17].	13
Şekil 2.1.8.4.2. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının β' (martenzit) yapısının farklı meneviş sıcaklıklarındaki yapısı [17].	14
Şekil 2.1.8.4.3. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 750 °C den hızlı soğutulması ile oluşan mikroyapı. Koyu renk β' (martenzit) fazı, açık renk α fazı [27].	15
Şekil 2.1.8.4.4. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının β' (martenzit) yapısının sertleştirme sıcaklığı değişimi ile sertliğindeki değişim. [27].	15
Şekil 2.1.9.1.1. a) Yüksek mukavemetli berilyum alaşımı denge diyagramı. b) Yüksek iletkenlikli berilyum alaşımı denge diyagramı [21].	17
Şekil 2.1.9.3.1. Cu-Be Denge diyagramı [19].	20
Şekil 2.1.9.3.2. Şematik yaşlandırma eğrisi ve mikroyapı değişimi. [25].	22
Şekil 2.1.9.3.3. Farklı yüzdelerde berilyum içeren bakır-berilyum alaşımlarının, yaşlandırma sonrası sertliğinin, zamana bağlı değişim eğrileri. [25].	22
Şekil 2.1.9.3.4. % 1,87 Be içeren bakır-berilyum alaşımının 800 °C de solüsyon tavlama ve hızlı soğutulması ardından (a) 350 °C de 4 saat (b) 400 °C de 16 saat suni yaşlandırma sonrası mikroyapısı [17].	23
Şekil 2.1.9.3.5. (a) Çözeltiye alınmış Cu-Be yapısı (b) γ' geçiş çözelti fazı (c) Dengesel çökeltinin oluşumu (aşırı yaşlandırma) [26].	23
Şekil 3.1. (a) Berilyum bronzundan yapılan el aletleri (b) Alüminyum bronzundan yapılan el aletleri.	25
Şekil 4.2.1.1. Exproof sembolü [30].	27
Şekil 4.2.1.2. Exproof alet grup ve kategorileri [31]	28
Şekil 4.2.2.1. Patlama üçgeni.	30
Şekil 4.2.3.1. Örnek Zone 'lar.	32
Şekil 5.1.1. a) Alüminyum bronz yuvarlak malzeme b) Berilyum bronz yuvarlak malzeme.	33
Şekil 5.2.1. Alüminyum ve berilyum bronzundan kıvılcım çıkarmayan el aleti üretimi akış şeması.	34
Şekil 5.3.1.1. Isıtmanın yapıldığı elektrikli fırın.	35
Şekil 5.3.1.2. Ön şekillendirmenin yapıldığı şahmerdan.	35
Şekil 5.3.1.3. Ön şekillendirilmiş ürünler.	36
Şekil 5.3.2.1. Dövme presi (Lasco 1600kg).	37
Şekil 5.3.2.3. Kapalı kalıpta sıcak dövme.	37
Şekil 5.3.2.4. Dövülmüş yıldız çakma anahtarlar (çapaklı).	38
Şekil 5.4.1. Çapağı alınmış, yıldız broşu çekilmiş, yıldız çakma anahtarlar.	38
Şekil 5.5.1.1. a) Laboratuvar tipi kesme makinesi (Metacut/Metkon) b) Sıcak kalıplama makinesi (Dığıpress/Metkon)	39
Şekil 5.5.1.2. a) Zımpara ve parlatma makinesi (Gripo/Metkon) b) Sıcak kalıplanan alüminyum ve berilyum mikroyapı numuneleri.	39
Şekil 5.5.1.3. Metal mikroskobu (Nikon).	40
Şekil 5.7.1.1. Brinell sertlik ölçme cihazı (Karl Frank).	42
Şekil 5.7.3.1. Çentik darbe testi numune ebatları.	43
Şekil 5.7.3.2. Çentik darbe V çentik test numunesi.	43

Şekil 5.7.3.3. ASTM E 8M-04 Standart'ına göre 2mm kalınlıktaki çekme test numunesi ölçüleri.....	44
Şekil 5.7.3.4. Schimadzu Autograph 100 kN çekme-basma cihazı	44
Şekil 5.7.3.5. Çekme testi test numuneleri.....	45
Şekil 5.9.1 Kıvılcım testi.....	46
Şekil 6.2.1.1. Hammadde Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.....	48
Şekil 6.2.1.2. 900 °C derecede dövme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d)1000x büyütme SEM görüntüleri.....	49
Şekil 6.2.1.3. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	50
Şekil 6.2.1.4. 400 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 6.2.1.5. 515 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	52
Şekil 6.2.1.6. 600 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.....	52
Şekil 6.2.1.7. 650 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	53
Şekil 6.2.1.8. 675 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	53
Şekil 6.2.1.9. 700 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.....	54
Şekil 6.2.2.1. Hammadde CubroB2 (Cu-Be) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.....	55
Şekil 6.2.2.2. 720 °C de dövümüş CubroB2 (Cu-Be) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	56
Şekil 6.2.2.3. 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) 200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.....	57
Şekil 6.3.1.1. Dövme sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.....	58
Şekil 6.3.1.2. Dövme sonrası Cubral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	59
Şekil 6.3.1.3. 860 °C de sertleştirme sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.....	60
Şekil 6.3.1.4. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	61
Şekil 6.3.1.5. 515 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.....	62
Şekil 6.3.1.6. 515 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	63
Şekil 6.3.1.7. 650 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.....	64
Şekil 6.3.1.8. 650 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3, numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	65
Şekil 6.3.1.9. 675 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.....	66

Şekil 6.3.1.10. 675 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3, numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	67
Şekil 6.3.2.1. 720 °C de dövme sonrası CubroB2(Cu-Be)'nin EDS analizi için seçilen bölgeleri.	68
Şekil 6.3.2.2. 720 °C de dövme sonrası CubroB2(Cu-Be) 1 ve 2 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.....	69
Şekil 6.3.2.3. 800 °C de çözeltiye 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) 'nin EDS analizi için seçilen bölgeleri.	69
Şekil 6.3.2.4. 800 °C de çözeltiye 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) 1 ve 2 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.	70
Şekil 6.6.1. Kıvılcım testi numuneleri.	72
Şekil 6.6.2. Kıvılcım testi sonucu.	73
Şekil 6.7.1.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.	74
Şekil 6.7.1.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.....	75
Şekil 6.7.1.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.	75
Şekil 6.7.1.4. Çelik malzemenin (31CrV3) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.	76
Şekil 6.7.2.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.	77
Şekil 6.7.2.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.....	77
Şekil 6.7.2.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.	78
Şekil 6.7.2.4. Cu-Be (CubroB2) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.....	78
Şekil 6.7.3.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.	79
Şekil 6.7.3.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.....	79
Şekil 6.7.3.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.	80
Şekil 6.7.3.4. Cu-Al (Cubral 4M) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.....	80

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Saf bakırın fiziksel özellikleri.....	2
Tablo 2.2. Saf bakırın üretim yöntemlerine göre mukavemet değerleri.....	2
Tablo 2.3. Alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri.....	3
Tablo 2.1.8.4.1. Bakır alaşımlarının dövülebilirliği.....	11
Tablo 2.1.8.4.2. Bakır alaşımlarının dövme sıcaklığı.....	12
Tablo 2.1.9.1.1. Dövülebilir berilyum alaşımları.....	17
Tablo 2.1.9.1.2. Dökülebilir berilyum alaşımları.....	18
Tablo 2.1.9.2.1. Yüksek mukavemetli ve yüksek iletkenlikli berilyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	18
Tablo 2.1.9.2.2. Bakır berilyum alaşımı dövme sıcaklık aralığı.....	19
Tablo 5.1.1. Alüminyum bronz kimyasal kompozisyonu (Cubrol 4M).....	33
Tablo 5.1.2. Berilyum bronz kimyasal kompozisyonu (CubroB2).....	33
Tablo 6.1.1. Isıl işlem sonrası sertlik değerleri.....	47
Tablo 6.5.1. Isıl işlem sonrası sertlik değerleri.....	71
Tablo 6.7.1. Çekme testi sonuçları.....	74

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN'a,

Lisansüstü öğrenimim için bana imkan ve maddi manevi her türlü desteği sağlayan, çalıőmıő olduğum Őirketim İZELTAŞ A.Ő. yönetim kuruluna,

Lisansüstü öğrenimine katılmam için beni teővik eden ve destekleyen Sayın Nahit NAİL'e , Sayın Emre ARBAK'a, ve Sayın Yıldırım GÜRKAN'a,

Bana cesaret veren, bilgi ve tecrübesiyle her zaman bana yardımcı olan Sayın Yięit ERÇAYHAN'a, Ansys analiz çalıőmalarını yapan ve beni destekleyen sayın Murat DELİBALCI'ya,

Bilgi ve tecrübeleriyle bana teknik destek veren SAğLAM METAL A.Ő.'ye,

Hep yanımda olan, beni bugünlere getiren, desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme, sevgili eőim Tuęba EREN'e ve kızım Defne EREN'e yürekten teşekkür ederim.

Aykut EREN
Manisa, 2016

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Demir Dışı Metallerden Dövme Yöntemi İle El Aleti Üretimi

Aykut EREN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendislik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN

Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan el aletleri genellikle çelik malzemeden yapılmaktadır. Çelik malzemelerin yüzeyleri sürtünme ile ısınır. Özellikle düşük alaşımlı çeliklerde ısı iletimi yüksektir ve yüzeyler daha hızlı ısınır. Taşlama, zımparalama, talaşlı işlem den sonra çıkan talaşın oksidasyon'u (yanmasıyla) ile sürtünme kıvılcımları meydana gelir. Kıvılcım oluşumunun diğer bir şeklide; İşleme, taşıma, sürtünme ve darbe sonrası malzemeler arasındaki potansiyel farklardan meydana gelen arklardır. Bu arklar kıvılcım oluşumunu meydana getirir. 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 ortamlarda çelik malzemelerden üretilen el aletleri kullanımı tehlikelidir. Bu ortamlarda kıvılcım çıkarmayan ya da ortamın ateşlenmesine yeterli olamayacak kadar düşük kıvılcım çıkaran malzemelerden üretilen (exproof) el aletlerinin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada; 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 ısı 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 ürünler; 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: Kıvılcım Çıkarmaz, Berilyum Bronzu, Alüminyum Bronzu, Sıcak Dövme, Isıl İşlem, El aleti

2016, 88 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Hand Tools Production from Non-Ferrous Metals by Forging Method.

Aykut EREN

**Manisa Celal Bayar University
Institute of Science and Technology
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Asist. Prof. Dr. İbrahim AYDIN

Hand tools widely used in the world are usually made of steel material. The surfaces of steel materials are heated by friction. Especially in low alloyed steels the heat transfer is high and the surfaces heat up faster. The grinding, sanding and machining processes are followed by the oxidation of the sawdust (combustion) and friction sparks. Another way of sparks; They are the origin of the potential differences between materials by machining, transport, friction and impact. This arcs makes the sparks. 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 production facilities, solvent and fuel storage and filling facilities, petrol stations, coal mines, oil refineries. The use of hand tools made of steel materials in these environments is dangerous. These environments require the use of exproofed hand tools that do not create sparks or produce sparks that are too low to be sufficient to ignite the environment.

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

2016, 88 pag

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, ısıl 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.



Şekil 1.1. Kıvılcım çıkarmayan el aleti çeşitleri; a) Cu-Be, b) Cu-Al malzemeden üretilen.

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 metallerle 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.

2. BAKIR VE ALAŞIMLARI

Bakır insanlar tarafından kullanılan ilk metal, çağlar boyunca kullanım açısından demirden sonra ikinci metaldir. Tarih öncesi dönemde bulunmuştur ve yaklaşık M.Ö 4000 yılları öncesinden başlayarak kullanıldığı düşünülmektedir. Bakır-Kalay bronzunun M.Ö. 2400 yılından bu yana kullanıldığı bilinmektedir. Bronzun bu yıllarda üretilmesiyle, günlük kullanım araçlarında metal malzemelerin üstün mekanik özelliklerinden tam anlamıyla yararlanılmaya başlanmıştır[1].

Bakır ve bakır alaşımlarının günümüze kadar en önemli mühendislik malzemeleri olarak kalmasının sebebi, korozyon dayanımlarının, mükemmel elektrik ve ısıl iletkenliklerinin, cazip görünüşünün, sünekliliğinin ve şekillendirme kolaylığının sayesinde. Gümüşten sonra en iyi elektrik iletkenliğine ve gümüş ile altın arasında yer alan yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Bakır saf konumda düşük akma ve yorulma mukavemetine sahiptir [1].

Tablo 2.1. Saf bakırın fiziksel özellikleri[4].

Ergime noktası	~1083 °C
Yoğunluk	8,95 g/cm ³
Atom kütlesi	63.55
Elektrik iletkenliği	16,78 nΩ·m
Isı iletkenliği	391 W/mK
Elastik modül	117 GPa

Tablo 2.2. Saf bakırın üretim yöntemlerine göre mukavemet değerleri[4].

	Haddelene ve tavlama	Çekilme	Döküm
Çekme mukavemeti N/mm ²	200-250	350-450	150-200
Akma dayanımı N/mm ²	40-80	250-350	-
Kopma uzaması %	30-45	6-2	15-22

Bakırın teknik beklentilere cevap verebilmesi, çoğu zaman sertlik, mukavemet değerlerinin artırılmasına bağlıdır ki bu değerlerdeki artış alaşımlandırma ile mümkün olabilir [1]. Saf bakıra alüminyum, berilyum, krom, kobalt, demir, kurşun, mangan, nikel, silisyum, gümüş, kalay, titanyum, çinko ve zirkonyum gibi elementler tek veya bu elementlerin kombinasyonları halinde ilave edilebilmektedirler[2,3]. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra ilavesi ile proses şartlarına da bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerin geliştirilmesine olanak veren mikro yapılar oluşabilmektedir[5,6]. Alaşımlama ile mekanik özellikleri orijinal saf haline kıyasla geliştirilebilir[7]

Tablo 2.3. Alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri[1].

	Alaşım Elementi
Mukavemet artırıcı	Krom (Cr), Silisyum (Si), Kalay (Sn), Alüminyum (Al), Manganez (Mn), Nikel (Ni), Zirkonyum (Zr), Fosfor (P), Kobalt (Co), Demir (Fe), Çinko (Zn), Berilyum (Be)
Korozyon dayanımı artırıcı	Nikel (Ni), Alüminyum (Al), Kalay (Sn), Manganez (Mn), Arsenik (As), Demir (Fe), Silisyum (Si)
Aşınma dayanımı artırıcı	Alüminyum (Al), Kalay (Sn), Gümüş (Ag), Silisyum (Si), Kadmiyum (Cd), Berilyum (Be), Kobalt (Co)
İşlenebilirliği artırıcı	Tellür (Te), Kurşun (Pb), Kükürt (S), Çinko (Zn)
Renk değiştirici	Çinko (Zn), Nikel (Ni), Kalay (Sn)

2.1. Bakır Alaşımları

2.1.1. Bakır Çinko Alaşımları (Pirinçler)

Bileşiminde %37 den az çinko bulunan pirinçler yalnız α fazından oluşmuştur. Bunlara α pirinci denir. α pirincinin en özelliği soğuk şekillendirilebilme kabiliyetinin iyi olmasıdır. α pirinci yapısında kurşun bulunmadığı sürece sıcak şekillendirilebilirler [8].

%37-47 arasında çinko içeren pirinçler $\alpha+\beta$ fazından oluşur. Bu pirinçlerin plastik şekil alabilme kabiliyetleri düşük, döküm ve talaşlı işlenebilme kabiliyetleri yüksektir. %47 ten fazla çinko içeren pirinçler ise β fazından oluşur. Bu pirinçlerin de döküm ve talaşlı işlenebilme kabiliyeti yüksektir. β fazı 456-468 °C arasında β^1

fazına dönüşür ve β^1 fazı β fazından daha sert ve gevrekler. β pirinci oda sıcaklığında zorlukla ve ancak küçük oranlarda soğuk şekillendirilebilir. Yüksek sıcaklıklarda ise (~500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda) kolayca şekil verilebilir. β pirinçlerinde bakır oranı az olduğu için düşük korozyon mukavemetine sahiptirler. Bu pirinçler kurşun ve kalay gibi elementlerin taneler arası saldırısına açıktır [8].

Bakır çinko faz diyagramında artan çinko miktarı ile β fazından sonra ortaya çıkan fazların hiç biri plastik şekil vermeye uygun yapılar değildir [8].

2.1.2. Kalay Bronzları (Geleneksel Bronzlar)

Kalay bronzlarının en önemli özelliği yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Yaklaşık %8 e kadar kalay içeren bronzlar α yapısındadırlar ve plastik şekil değiştirebilirler, soğuk işlenebilirler. %8-20 arasında kalay içeren bronzlar döküm ile şekillendirilmeye uygun malzemelerdir. Bronz içindeki kalay miktarı arttıkça dayanım da artar ve %20 kalay miktarına ulaşıldığında dayanım değeri maksimuma ulaşır. Kalay miktarının %20 yi aşması durumunda ise yapı içerisinde oluşan intermetalik fazlara bağlı olarak dayanım değerleri düşer [8].

2.1.3. Silisyum Bronzları

Yüksek mukavemet ve ye korozyon direncine sahiptirler. Her türlü kaynağa uygundur. Isı değiştirici tüpler, basınçlı tüpler, boru, tank, perçin ve civata yapımında kullanılırlar[8].

2.1.4. Bakır Nikel Alaşımları (Kupronikeller)

Kupronikeller %3-30 arası nikel içeren bakır alaşımlarıdır. Her zaman α yapısındadırlar, plastik şekil verilmeleri kolaydır. %66 bakır, %30 nikel, %2 mangan, % 2 demir içeren kupronikeller korozyon ve erozyona dayanıklıdır, deniz suyu çarpan yerlerde kullanılır. %10-18 nikel, %10-30 çinko bulunduran kupronikeller ise kolay şekil alan gümüşe benzeyen bir yapı oluştururlar. Bu malzemeye nikel gümüşü veya alman gümüşü denir[8].

2.1.5. Arsenikli Bakır

%0,5 arsenik 400 °C de çekme dayanımını yükseltmek için bakıra eklenir[8].

2.1.6. Gümüslü Bakır

%0,03 gümüş ilavesi lehim işleminde yumuşamayı önler, yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir[8].

2.1.7. Kurşun, Tellüryum, Selenyum İçeren Bakır

Bakırın talaşlı imalata uygun hale gelmesini sağlar. Vida, mil ve vidalı makara parçalarının imalatında kullanılır[8].

2.1.8. Alüminyum Bronzları

Bakırın alüminyumla yaptığı alaşımlara “ alüminyum bronzları ” adı verilir[9]. Bu bronzlar %3-13 arasında alüminyum içerirler. Yaklaşık %9 alüminyuma kadar plastik şekillendirilmeye uygundur[8].

Alüminyum bronzlarının avantajları[1];

- Üstün mukavemet (Bu özelliği düşük alaşımli 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.

Korozyon direncinin yüksek olması yüzeylerinde meydana gelen Al_2O_3 tabakasına bağlıdır[8].

Alüminyum bronzu, % 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 °C - 1040

°C, yoğunluğu 8,2 kg/dm³ 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 sünekliliği azaltır. Alüminyum bronzu ısıl işleme tabi tutulabilir. Alüminyum bronzlarına 800 °C 'de ısıl işlem uygulandığında çekme dayanımı % 25 - % 30 arasında artar. İçerisinde % 10 alüminyum bulunan, alüminyum bronzu 800 °C 'deki ısıl işlemden sonra yavaş soğutulularak sünekliliği artırılabilir. [10].

2.1.8.1. Alüminyum Bronzlarına Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alüminyum: Mukavemeti ve sertliği artırır. Alüminyum bronzunun aşınma direncini yükseltir. Eğer % 10'nun üzerinde ilave edilirse sünekliliği düşürür. Genellikle tek başına ilave edilmez. Alüminyum bronzlarına, alüminyumun yanında daima tane inceltici olarak demir ve nikel katılır [11,12].

Kurşun: Alaşıma mükemmel tornada işlenebilme ve yatak olarak kayma özelliği verir. Bu nedenle dişli çarklarında, volanlarında ve benzer parçaların dökümünde kurşun ilave edilir. Mikro yapı içinde yumuşak ve ayrı bir faz olarak yer alır. Bu özellik alaşıma kendi kendine yağlama özelliğini kazandırır. Alüminyum bronzlarında %9'a varan oranlarda kurşun olabilir. Bu tip alaşımlarda yüksek oranda kurşun segragasyon'u olma meyli vardır [13].

Manganez: Çekme mukavemetini artırıcı özelliği vardır. Fakat bu %1'in üzerindeki miktarlar için geçerlidir. %5 Mn'a kadar döküm alaşımlarında kullanılır. Mangan aynı zamanda deoksidasyon amacıyla yaklaşık % 0,2 oranında kullanılır. Korozyon dayanımını artırır [11,12,13].

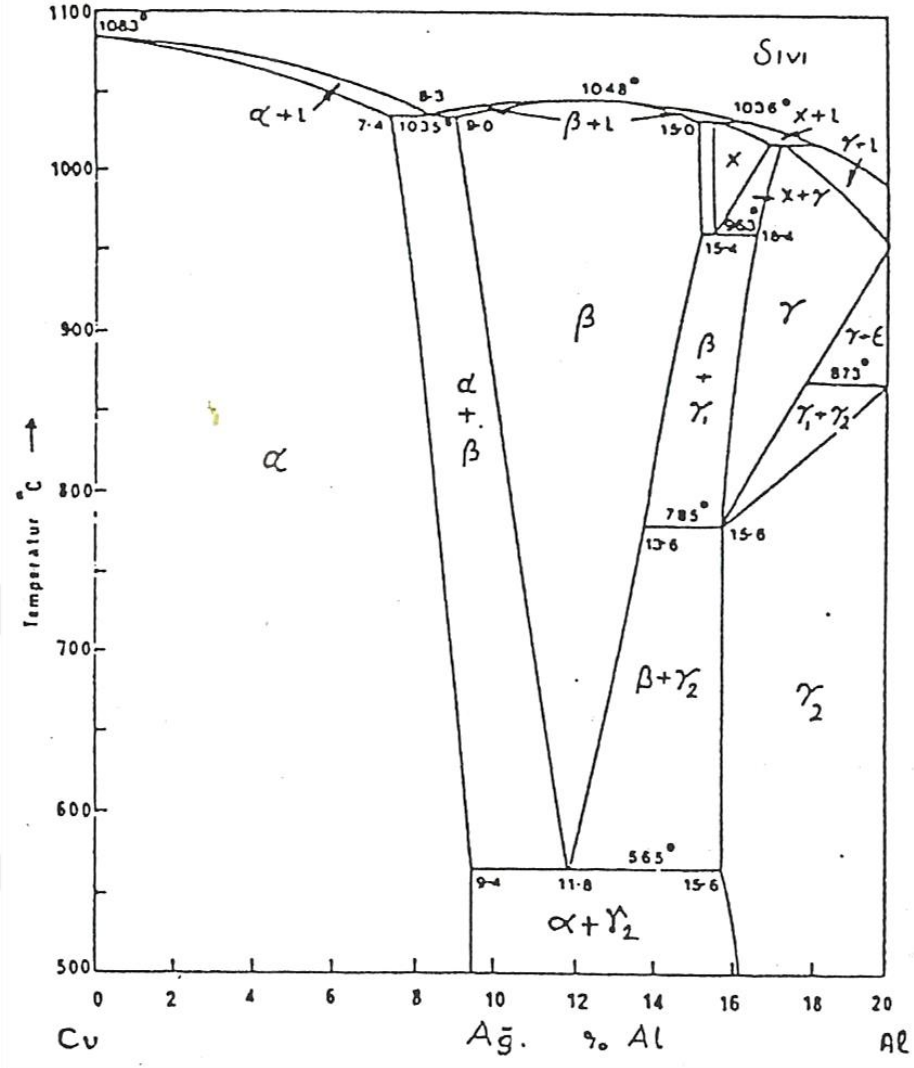
Demir: Alüminyum bronzunda diğer bakır alaşımlarına nazaran daha fazla çözünerek %3 Fe'ye kadar katı fazda çözünür. Bunun üzeri değerlerde ikinci faz (Fe₃Al) halinde şekillenir. Diğer önemli bir etkisi tane küçültücü olarak kullanılmasıdır ve bu şekilde çekme mukavemetini artırır. % 0,75 ile % 3 arasındaki miktarlarda demir ilavesi likidüs sıcaklığını artırır. Ötektoid dönüşümü geciktirir ve döküm kalıbının sıvı metali soğutma hızı, faz dönüşümü üzerinde herhangi bir etki yapmadan α ve β fazları oluşur. Bu, yüksek nikel ilavesinde de aynı şekilde görülür. Yüksek demirli alüminyum bronzlar özel amaç doğrultusunda üretilmiş alaşımlardır.

Genelde demir sert noktalara ve demir segragasyonuna neden olduğu için, bilhassa daha sonra şekil verilecek işlem alaşımlarında, belirli oranları geçmesi istenmez [13].

Nikel: %5'e kadar kullanılır sertlik, aşınma direnci, çekme mukavemeti ile sünekliliği artırır. Döküm alaşımlarına az miktardaki ilaveler mekanik özellikleri iyileştirirken, yüksek miktarlarda ilaveler (%5'in üzeri) kompleks fazları oluşturmaları nedeniyle kötüleştirir. Yüksek alüminyumlu bronzlarda demir gibi ötektoid dönüşümü geciktirir. Tane inceltme etkisi yapar ve alaşıma % 5'e kadar ilave edilir. %5 üzeri nikel içeren yapılarda Ni₃Al intermetalik fazları çökelme sertleştirme etkisi yapar. Nikel ilavesi ötektoid sıcaklığını değiştirmekte ve γ^2 fazının oluşmasını engellemektedir [11,12,13].

Silisyum: Alüminyum bronzlarına mükemmel akıcılık ve dökülebilirlik özelliği kazandırır. Fosfor gibi silisyumda zararlı etkisi var denirse de belirli oranlarda kullanılması ile mekanik özellikler sağlanabilir. Silisyumun faydalı özelliklerinden dolayı belirli miktarlardaki silisyum, alüminyum yerini alabilir. Bu oran (Silisyum/Alüminyum 1,7/1) dır. Silisyum ilavesinde dikkate edilmesi gereken diğer bir husus oksit filmi oluşturmasıdır. Bunun belirli ölçülerde alaşıma zararlı etkisi vardır [13].

2.1.8.2. Alüminyum Bronzlarının Faz Diyagramı



Şekil 2.1.8.2.1. Cu-Al Denge diyagramı [11]

Bu diyagramda görüldüğü gibi α katı eriyiğin çözünürlük sınırı, 1035 °C de % 7,4 alüminyum ve 565 °C de %9,4 alüminyumdur. 1035 C° de %9 Al β fazının hakim olduğu noktanın başlangıcı, 565 °C ve %11,8 Al bileşimi ise ötektoid dönüşüm noktasıdır [13].

Alüminyum bronzunda bulunan fazlar [10,11,12,13];

(α) **Fazı:** Max. %9,4'e kadar alüminyum içerebilmesine rağmen, %7,5'ten az alüminyum içeren bileşimlerde bu faz solidüsün altındaki bütün sıcaklıklarda karardır. %9-%9,4 Al bileşim aralığındaki alaşımlar katılaştırırken, önce β fazı oluşur,

1035 C° ötektoid yatayı altında $\alpha+\beta$ ötektik fazı teşekkül eder ve bu $\alpha+\beta$ bölgesinden çıkıldığında katı fazda α dönüşümü olur.

(β) Fazı: %7,4-11,8 alüminyum bileşim aralığındaki alaşımların mikro yapısı, ısıtılma işlemi su verme sonucu tek faz halinde elde edilebilir. Ayrıca % 11,8'den fazla alüminyum içeren alaşımlar da 565 °C altındaki ötektoid reaksiyon ile $\alpha+\gamma_2$ yapısına dönüşebileceğinden, yüksek soğuma hızları ile bu reaksiyon gelişmeden martensitik β fazı oluşabilir.

(γ_2) Fazı: Tek faz olarak, %16 dan fazla alüminyum içeren alaşımlarda görülebilir. Ancak alüminyum bronzları max. %15'e kadar Al içerdiklerinden, γ_2 fazının tek faz halinde ticari alaşımlarda bulunması söz konusu değildir.

Ticari alaşımlarda α veya β fazları ile birlikte ikili yapılar bulunur.

($\alpha+\beta$) Fazı: %7,4-11,8 Alüminyum içeren alaşımların yüksek sıcaklıkta su verilmesi ve tekrar 565 °C üzerine ısınması ile martensitik β fazından α fazının çökeltilmesi sonucu elde edilir.

($\alpha+ \gamma_2$) Fazı: %11,8'den fazla alüminyum içeren alaşımlar katılaştırırken önce β fazı oluşur ve katılma süresinde 565 °C de ötektoid dönüşüm sonucu $\beta \rightarrow \alpha+ \gamma_2$ fazları oluşur.

2.1.8.3. Alüminyum Bronzlarının Çeşitleri

Birincil grup alüminyum bronzları; yaklaşık %4-%9 arası alüminyum içerirler. Şekil 2.1. de verilen denge diyagramında da görülebileceği gibi yapı α katı eriyikten oluşmuş homojen bir yapıdır. Düşük miktarda alaşım elementi içerdiği, oldukça sünek ve yumuşak bir malzeme olduğu için sıcak ve soğuk olarak şekillendirmeye müsaittir. Nikel, demir ve/veya mangan ilavesi ile mekanik özellikler iyileştirilir. Mukavemet artışı için ısıtılma işlemi uygulanmaz. Korozyon direnci yüksek olduğundan kondansör boruları imalinde faydalıdır. Bu α fazlı alaşımların bileşimi 18 karat altıninkine eş renk verecek şekilde ayarlanabildiğinden, altın taklidi sigara kutuları ve bu tipte sair süs eşyası imalinde kullanılan saçlar çekilir [1,14,15,16,17].

İkincil grup alüminyum bronzları; %9-%14 miktarda alüminyum içerirler. İki fazlı yapıya sahiptirler. Bu alaşımlar sıcak işlemeye ve döküme uygun alaşımlardır.

Alüminyum miktarı %10'u aşınca mukavemet ve sertlik daha da artar. Alfa ve beta fazlarını içeren bu alaşımda ilk oluşan beta fazıdır. Sıcaklığın düşmesi ile β fazının ara bölgelerinde ötektik reaksiyon sonucu α fazı oluşumu gerçekleşir. 565 °C de ötektoid dönüşüm ile sert, kırılğan ve mikro yapıda küçük tanecikler halinde dağılmış γ fazı çökelir. Eğer hızlı soğuma yapılır ise bu yapı yerine yalnızca α ve β fazları bulunur. Fakat soğuma hızı çok kontrollü olmaz ise γ_2 fazının oluşumu engellenemez. Bu sebepten alaşıma Ni ve Fe ilave edilerek, alaşımın ötektoid sıcaklığı düşürülür ve normal soğuma hızlarında γ_2 fazı görülmez. İkinci grup alüminyum alaşımlarını mekanik özellikleri, martensitik dönüşüm ve akabinde yapılacak meneviş işlemi ile arttırılabilir. Aşınma dayanımının yüksek olması istene yerlerde kullanılırlar [13,14,16,17].

Aslında ikinci grup alüminyum bronzları da kendi içinde iki alt gruba ayırabiliriz [13].

- Birinci alt grup yaklaşık %9 ila %11 alüminyum içermektedir. Bileşim itibariyle oluşabilecek α ve β fazlarının oranı, alüminyum miktarı ve soğuma hızına bağlıdır. Bununla beraber 565 °C altına yavaş soğutma ile ötektoid yapı veya β fazı dönüşerek $\alpha + \gamma_2$ fazları meydana gelir.

- İkinci alt grup ise %11 den fazla alüminyum içeren gruptur. Alaşım büyük oranda β ve $\beta + \gamma_2$ fazlarından oluşmuştur. Bunlar özel amaç ile üretilen döküm alaşımlarıdır.

2.1.8.4. Alüminyum Bronzlarının Dövülebilirliği, Isıl İşlemi ve İşlenmesi

Bakır ve bakır alaşımlarının dövme yöntemi ile üretiminin diğer üretim yöntemlerine göre avantajları; parçaların çalışma koşullarındaki yüksek mukavemeti, döküme nazaran daha yakın toleranslar, seri üretimi sayesinde daha az toplam maliyet şeklindedir. Dövülebilir birçok bakır alaşımının şekillendirilmesi için gereken kuvvet, örneğin pirinç gibi, düşük karbonlu çeliklerin dövülmesi için gerekli şekillendirme kuvvetinden daha azdır. Dövülebilirliği daha düşük olan bakır alaşımlarının, örneğin alüminyum bronzu gibi, şekillendirme kuvveti düşük karbonlu çeliklerin şekillendirme kuvvetlerine yakındır [18].

Bakır ve bakır alaşımlarından dövme yöntemi ile vana, bağlantı parçaları, soğutma bileşenleri, yüksek basınçlı sıvı ve gaz uygulama parçalarında, yüksek mukavemet gerektiren makine dişlisi, rulmanı, hidrolik pompası gibi ürünler elde edilir. Bu ürünlerin yanı sıra kıvılcım çıkarmayan el aleti üretiminde, özellikle diğere bakır alaşımlarına nazaran daha yüksek mukavemet içeren alüminyum bronzu be berilyum bronzu dövme yöntemi ile üretilir [18].

Tablo 2.1.8.4.1. Bakır alaşımlarının dövülebilirliği [18].

Alloy	Nominal Composition	Relative forgeability, %
C10200	99.95 min Cu	65
C10400	Cu-0.027 Ag	65
C11000	99.9 min Cu	65
C11300	Cu-0.027 Ag+O	65
C14500	Cu-0.65Te-0.008P	65
C18200	Cu-0.10Fe-0.90 Cr-0.10 Si-0.05Pb	80
C37700	Cu-38Zn-2Pb	100
C46400	Cu-39.2Zn-0.8Sn	90
C48200	Cu-38Zn-0.8Sn-0.7Pb	90
C48500	Cu-37.5Zn-1.8Pb-0.7Sn	90
C62300	Cu-10Al-3Fe	75
C63000	Cu-10Al-5Ni-3Fe	75
C63200	Cu-9Al-5Ni-4Fe	70
C64200	Cu-7Al-1.8Si	80
C65500	Cu-3Si	40
C67500	Cu-39Zn-1.4Fe-1Si-0.1Mn	80

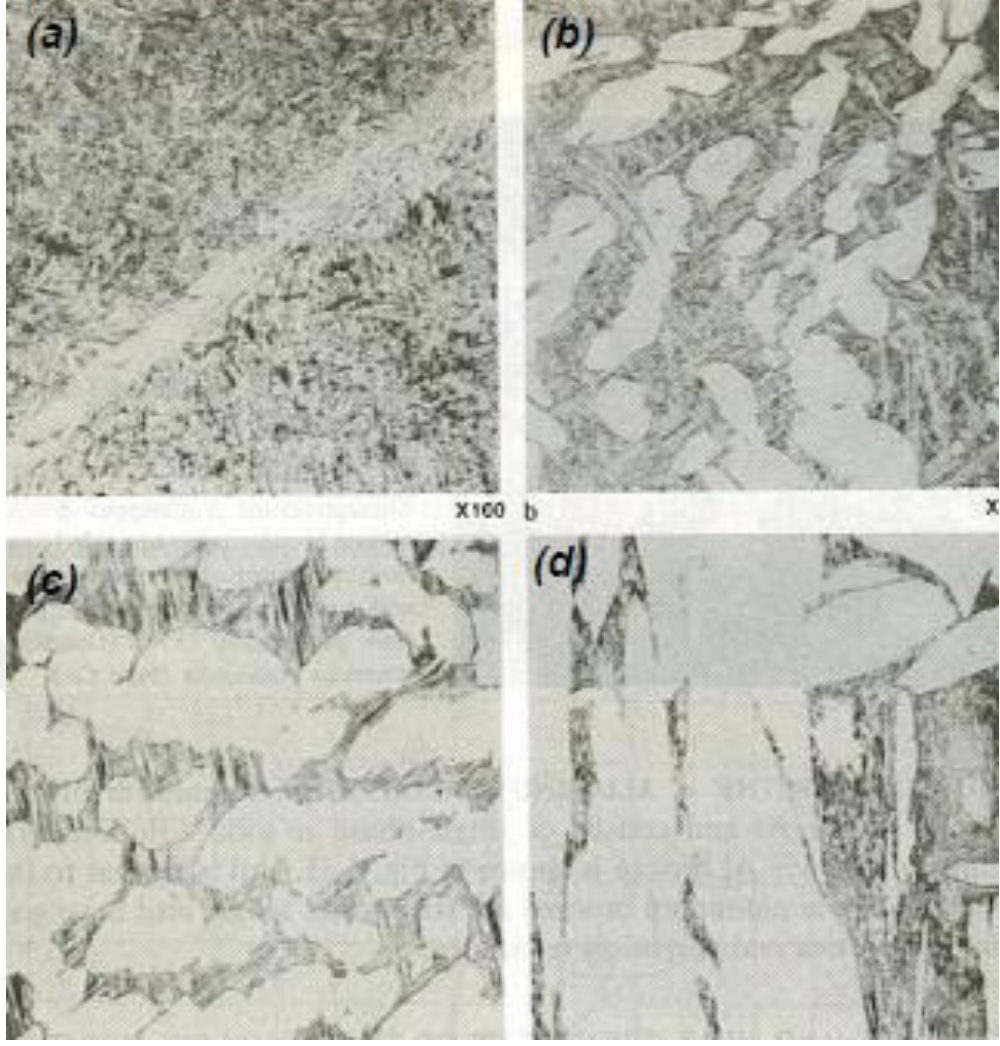
Tablo 2.1.8.4.2. Bakır alaşımlarının dövme sıcaklığı [18].

Alloy	Temperature Range	
	°C	°F
C12200	730-845	1350-1550
C18200	650-760	1200-1400
C37700	650-760	1200-1400
C46400	595-705	1100-1300
C62400	705-815	1300-1500
C64200	730-900	1350-1650
C67000	595-705	1100-1300
C67300	595-730	1100-1350
C67400	595-730	1100-1350

Alüminyum bronzunun ısıl işleminde süre çok önemlidir. Yüksek sıcaklıkta uzun süre tutmak tane büyümesine neden olur. İri tane yapısı mekanik özelliklerin düşmesine neden olacaktır.

Bakır-alüminyum diyagramının (Şekil 2.1.) β fazı katı eriyik'i demir-karbon diyagramının γ (austenit) fazına tekabül eder ve $\alpha + \gamma_2$ ötektoidi, çeliklerin ferrit(α) + sementit (Fe_3C) ötektoidiyle aynıdır. Yapısal dönüşümlerdeki bu benzerliklerin sonucu olarak % 10 alüminyumlu bir bronz, çeliğinkine benzer şekilde ısıl işleme (martensitik dönüşüm) tabi tutulabilir. Bu sayede iyi bir mukavemet, sertlik ile sünekliliğin en iyi kombinasyonu elde edilebilir [12,14,15].

% 10 alüminyumlu bir bronzu ele alalım; bu, yavaş olarak oda sıcaklığına soğutulduğunda tamamen α ve γ_2 fazlarından ibaret olacaktır. Yeniden ısıtılacak olursa $\alpha + \gamma_2$ ötektoidi, $565^\circ C$ ötektoid sıcaklığına varıldığında, β katı eriyik'ine dönüşecektir; sıcaklık daha da arttığında α fazı, $900^\circ C$ civarında yapı tamamen β katı eriyik'inden ibaret olana kadar tutulur. Bu sıcaklıktan itibaren suda su verme, β' fazından ibaret bir yapı vardır. Çeliklerde martensit'in olduğu gibi bu, bir denge fazı olmadığından denge diyagramında gözükmez. β fazı, martensit gibi sert ve gevrek olup fiilen mikro yapı görünümü olarak ona çok benzer. $500^\circ C$ 'de bu β' fazının menevişlenmesi bir ince α ve γ_2 fazlan kümesinin çökmesini sonuçlandırır ki bu da Çelikler deki sorbite çok benzer [15].

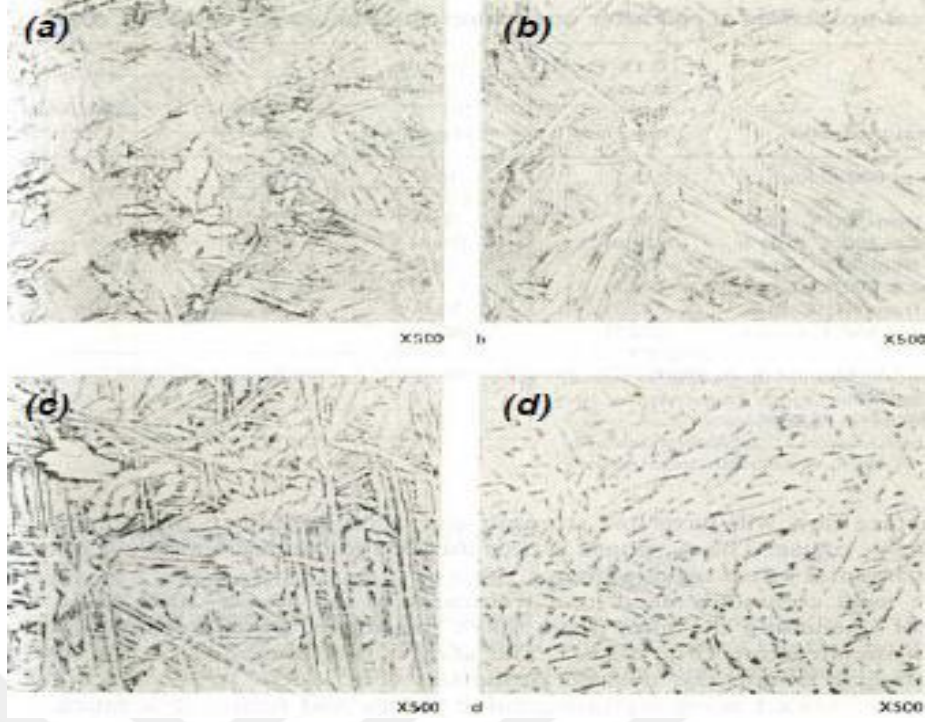


Şekil 2.1.8.4.1. %9,5 üzeri Al içeren alüminyum bronzu [17].

a) Hızlı soğutulması ile elde edilen β' (Martenzit yapı).

b) 800 °C ve c) 650 °C yavaş soğutulup daha sonra hızlı soğutulan yapıdaki daha az β' (Martenzit yapı).

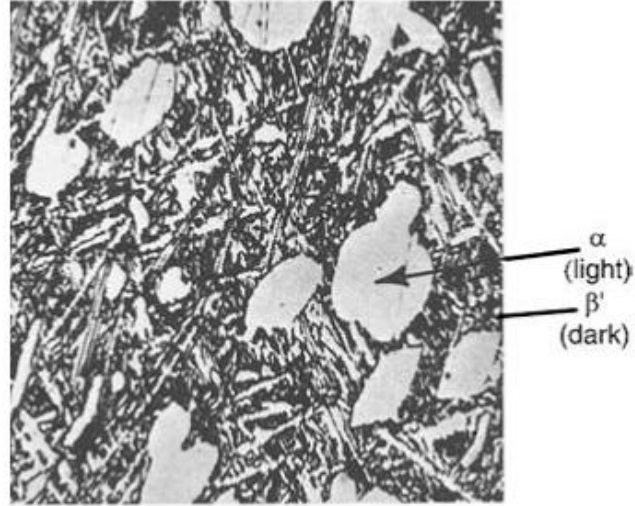
d) 500 °C yavaş soğutulup daha sonra hızlı soğutulan, β fazının $\alpha + \gamma_2$ fazlarına ayrıştığı yapı [17].



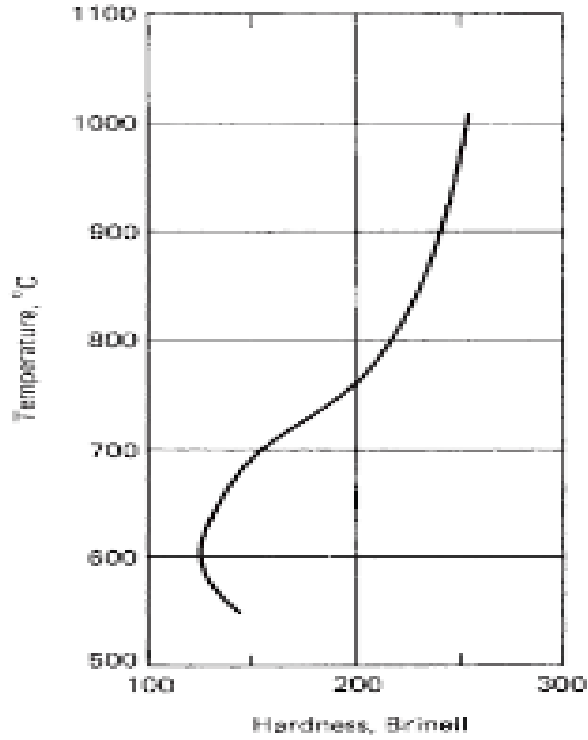
Şekil 2.1.8.4.2. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının β' (martenzit) yapısının farklı meneviş sıcaklıklarındaki yapısı [17].

- a) 900 °C de 1 saat tutlup daha sonra hızlı soğutulan β' (martenzit) yapısı.
- b) 400 °C de 1 saat temperlenen mikroyapı
- c) 500 °C de 1 saat temperlenen mikroyapı
- d) 600 °C de 1 saat temperlenen mikroyapı

β' (martenzit) yapısının iyi mekanik özellikleri, 450-600 °C de yapılan meneviş işlemi ile görülür. Şekil 2.1.8.4 de Sıcaklık artışı ile martenzit tane yapısının büyüdüğü görülmektedir. Oluşan α fazı mukavemeti ve sünekliliği arttırır [17].



Şekil 2.1.8.4.3. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 750 °C den hızlı soğutulması ile oluşan mikroyapı. Koyu renk β' (martenzit) fazı, açık renk α fazı [27].



Şekil 2.1.8.4.4. % 10 Al içeren Cu-Al alaşımının β' (martenzit) yapısının sertleştirme sıcaklığı değişimi ile sertliğindeki değişim. [27].

2.1.9. Berilyum Bronzları

%1-3 arasında berilyum içeren bronzlar bakır alaşımları içinde en yüksek mukavemete sahip ve en pahalı alaşımlarıdır. Çökeltme sertleşmesi ile dayanım kazanırlar. 750-800 °C civarında solüsyona alınır ve hızlı su vermenin ardından 250 °C ile 400 °C de çökeltme işlemi yapılır. Çekme dayanımı değeri 1380 MPa ve sertlik değeri 40 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. [8,12,13].

Berilyum bronzları;

- Projeksiyon ve yakma alın kaynağı, paslanmaz çeliklerin punto kaynağı için elektrotlar.
- Pistonlar, nozullar.
- Plastik kalıplarda soğuması gereken yerlerde geçme olarak veya kalıbın tümü.
- Kontak, zemberek, yaprak, bağlama, spiral yayları.
- Çeşitli diyaframlar.
- Takı kilitleri ve vidalar.
- Kıvılcım çıkarmaz el aletleri yapımlarında kullanılırlar [1].

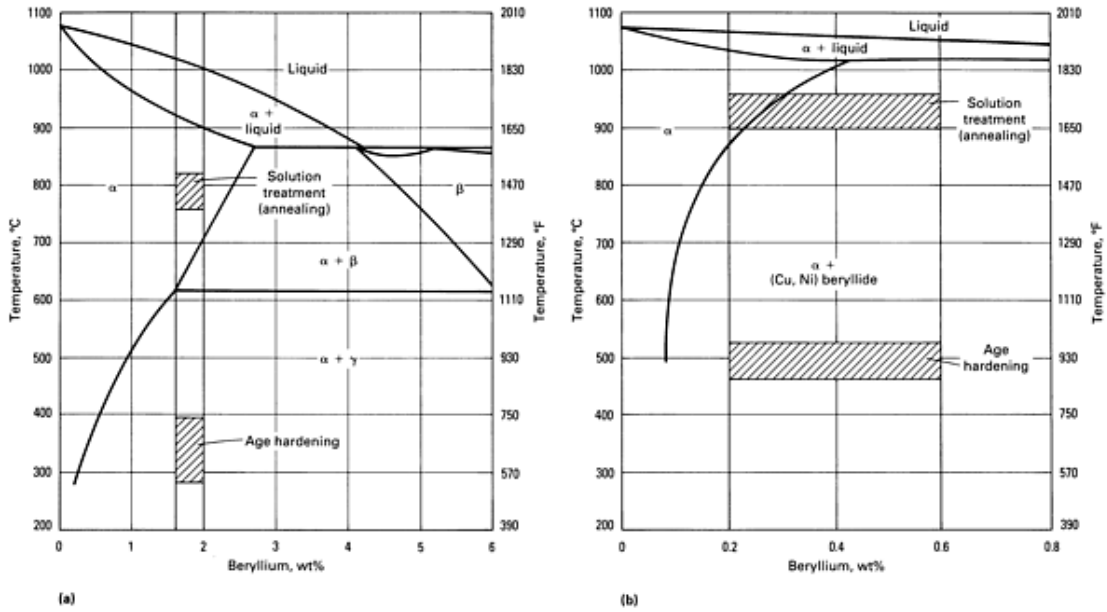
2.1.9.1. Berilyum Bronzları Grupları

Bakır içerisinde berilyum çözünebilirliği 866 °C de % 2.7, 300 °C de ise % 0,25 civarındadır (Şekil 2.1.9.). Bu nedenle berilyum-bakır alaşımları iki grup içerisinde incelenir [13].

Birinci grup berilyum bronzları; % 0,75 ve daha düşük berilyum içeren bronzlarıdır. % 1 altında berilyum çökeltme sertleştirmesi için uygun değildir. Fakat bu alaşımlara nikel (Ni) ve kobalt (Co) ilave edilerek, % 0.25 berilyum alaşımın bile çökeltmesi sağlanır. Berilyumca zengin diğer gruba göre sertlikleri daha düşüktür, fakat elektrik ve ısı iletkenlikleri çok yüksektir [13,20].

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 çökeltme sertleştirmesinde mukavemet ve sertlik artışı sağlar [20].



Şekil 2.1.9.1.1. a) Yüksek mukavemetli berilyum alaşımı denge diyagramı. b) Yüksek iletkenlikli berilyum alaşımı denge diyagramı [21].

Bu iki grupta ticari amaçlı berilyum bronzları olup imalat yöntemleri içerdikleri berilyum, kobalt ve nikel oranına bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 2.1.9.1.1. Dövülebilir berilyum alaşımları [21].

UNS number	Composition, wt%							
	Be	Co	Ni	Co + Ni	Co + Ni + Fe	Si	Pb	Cu
Wrought alloys								
C17200	1.80-2.00	...	...	0.20 min	0.6 max	...	...	bal
C173000	1.80-2.00	...	...	0.20 min	0.6 max	...	0.20-0.6	bal
C17000	1.60-1.79	...	...	0.20 min	0.6 max	...	...	bal
C17510	0.2-0.6	...	1.4-2.2	...	...	...	...	bal
C17500	0.4-0.7	2.4-2.7	...	...	...	...	...	bal
C17410	0.15-0.50	0.35-0.60	...	...	...	...	...	bal

Tablo 2.1.9.1.2. Dökülebilir berilyum alaşımları [21].

UNS number	Composition, wt%							
	Be	Co	Ni	Co + Ni	Co + Ni + Fe	Si	Pb	Cu
Cast alloys								
C82000	0.45-0.80	...	...	2.40-2.70	...	...	...	bal
C82200	0.35-0.80	...	1.0-2.0	...	...	...	...	bal
C82400	1.60-1.85	...	...	0.20-0.65	...	...	...	bal
C82500	1.90-2.25	...	...	0.35-0.70	...	0.20-0.35	...	bal
C82510	1.90-2.15	...	...	1.00-1.20	...	0.20-0.35	...	bal
C82600	2.25-2.55	...	...	0.35-0.65	...	0.20-0.35	...	bal
C82800	2.50-2.85	...	...	0.35-0.70	...	0.20-0.35	...	bal

2.1.9.2 Berilyum Bronzunun Dövülmesi

Bakır berilyum alaşımları sıcak dövme için uygun malzemelerdir. Sıcak dövme sonrası boyutsal kararlılıkları iyidir. Yaşlandırma işlemi sonrasında sağlam parçalar elde edilir. İşlem süresince sıcaklık ve zamana dikkat etmek gerekir [22].

Tablo 2.1.9.2.1. Yüksek mukavemetli ve yüksek iletkenlikli berilyum alaşımlarının mekanik özellikleri [22].

Alloy	Temperature		Yield Strength in Tension (ksi)	Elongation (%)	Deformation Resistance (ksi)
	°F	°C			
High Strength Copper Beryllium Alloys* (25 and 165)	1300	705	7	60	10-28
	1400	760	2	105	8-20
	1500	815	1	130	7-17
High Conductivity Copper Beryllium Alloys (3 and 10)	1300	705	11	35	16-33
	1400	760	8	45	12-27
	1500	815	5	55	10-23
	1600	870	3	70	6-20
	1700	925	2	85	5-16

* Alloy M25 (C17300) cannot be forged. Extrusion of M25 requires special conditions and processes.

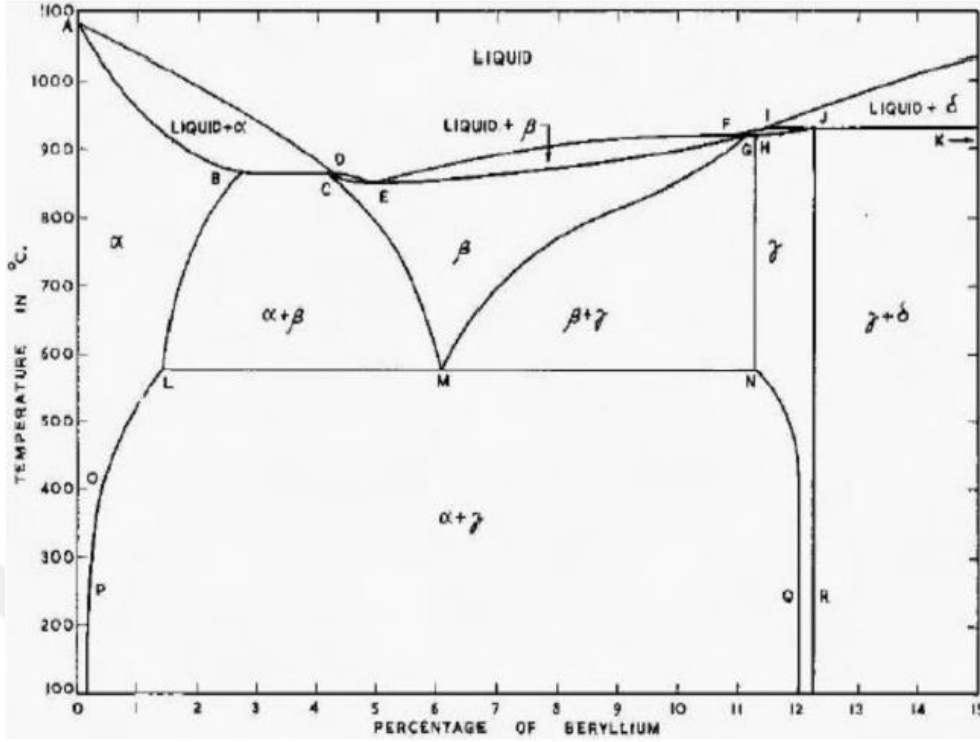
Dövme işleminde malzeme özelliklerinin yanı sıra, dövme parça geometrisi, sürtünme, yağlama, adyabatik ısınma ve kalıpların tasarımı gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. Açık ve kapalı kalıp yöntemi ile dövme işlemi yapılabilir. Dövme sıcaklık limitlerinin üst değerlerinde ergime alt değerlerinde çatlama riski vardır [22].

Tablo 2.1.9.2.2. Bakır berilyum alaşımı dövme sıcaklık aralığı [22].

Alaşım	Sıcaklık	
	°C	°F
25 ve 165	705-775	1300-1425
3 ve 10	760-925	1400-1700

Dövme sıcaklığı tane büyümesine neden olmayacak fakat yeniden kristalleşmeye de müsaade edecek yükseklikte olmalıdır. Dar dövme sıcaklığı aralığından dolayı büyük parçaların dövülürken ara ara tekrardan ısıtma yapılabilir. Parçalar dövme öncesi ısıtılır iken fırın içine şarj edildikten sonra, her 1 inç kalınlık için 1 saat fırın içinde tutulmalıdır. Dövme esnasında tekrardan ısıtmalarda her 1 inç için 30 dakika tutulmalıdır. Fırın sıcaklığı ± 5 °C tolerans aralığında olmalıdır. Fırın kontrollü ısıtma ve yüzeyde sülfür oluşmaması için doğal gaz ısıtmalı olmamalıdır [22].

2.1.9.3. Berilyum Bronzunun Isıl İşlemi



Şekil 2.1.9.3.1. Cu-Be Denge diyagramı [19].

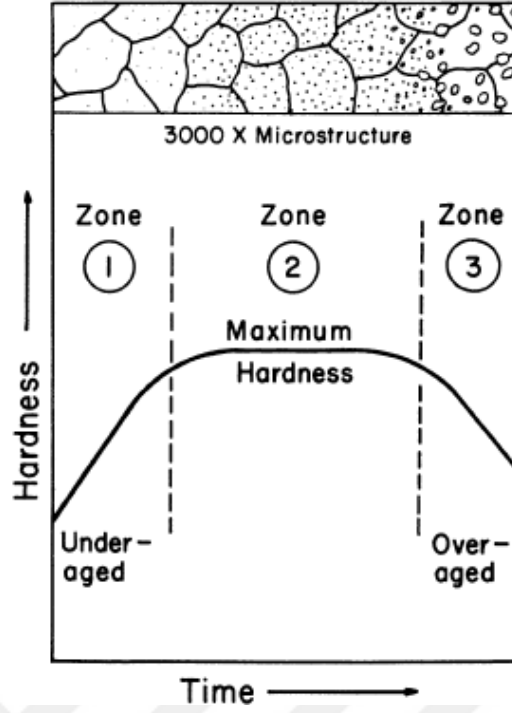
Bakır berilyum alaşımlarının ısıl işlemi çok yönlü bir anahtar gibidir. Sadece soğuk deformasyon ile mukavemeti artan diğer ana bakır alaşımlarına nazaran, dövme bakır-berilyum alaşımları soğuk şekillendirme ve çökelti sertleştirme kombinasyonu ile çok yüksek sertlik, iletkenlik ve mukavemet değerlerine ulaşabilir [23].

Çökeltme sertleştirme üç kademedен oluşmaktadır.

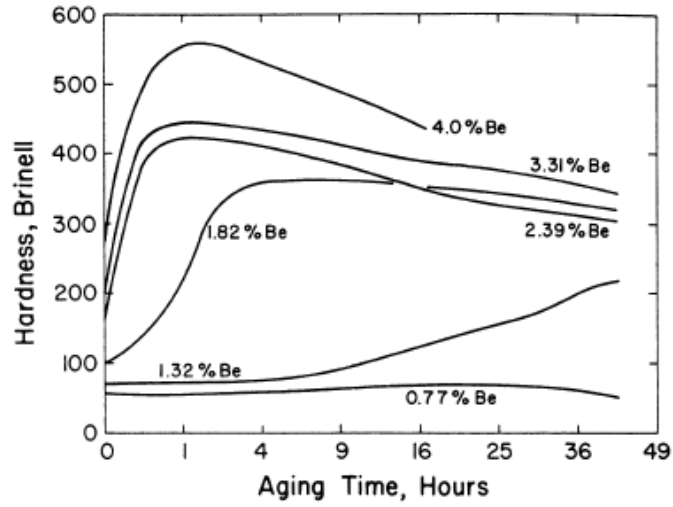
İlk kademe Solüsyon tavlama ; Solüsyon tavlama kısmın da aşırı doymuş bir katı eriyik çözeltisi oluşturmak için, yüksek mukavemetli berilyum bakırı 760-800 °C arasına, yüksek iletkenliğe sahip berilyum bakırı 900-950 °C arasına çıkartılıp burada bekletilir. Tutma süresi 1 inç başına ½ ile 1 saat arasındır. 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 eriği oda sıcaklığına yavaş olarak soğutulur ise tekrardan $\alpha+\gamma$ fazları çökelecektir. Aşırı doymuş çözelti suda hızlı soğutulduğunda ise çökeltme gerçekleşemez ve oda sıcaklığın da kararsız bir yapı oluşur.

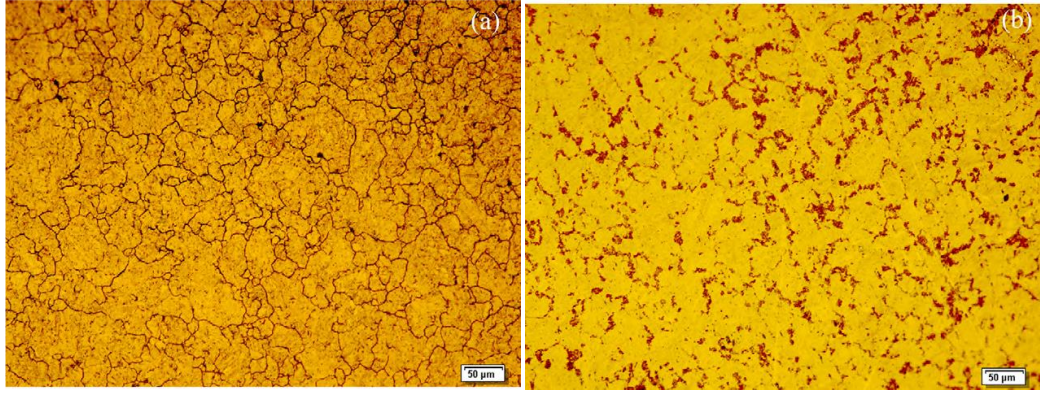
Üçüncü kademe yaşlandırma; Yaşlandırma doğal yaşlandırma ve suni yaşlandırma olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal yaşlandırmada oda sıcaklığında bulunan aşırı doymuş alfa bakırını, oda sıcaklığında uzun süre tutularak intermetalik fazların çökmesi işlemidir. İşlem süresi uzun olduğundan çok tercih edilmemektedir. 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 γ' çökeltileri çöker. Bu alaşımların dayanımı matris ve büyüyen çökelti arasında ara yüzeyin gelişiminin bir sonucu olarak artmaktadır. Bakır berilyum alaşımlarının çok fazla yaşlandırılmasından kaçınılır. Dengedeki γ fazının çökmesi halinde alaşımda yumuşama gerçekleşir [21,23,24].



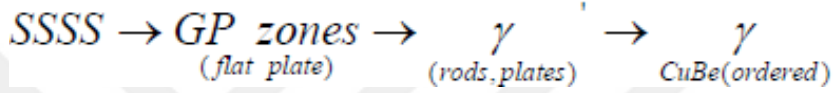
Şekil 2.1.9.3.2. Şematik yaşlandırma eğrisi ve mikroyapı değişimi. [25].



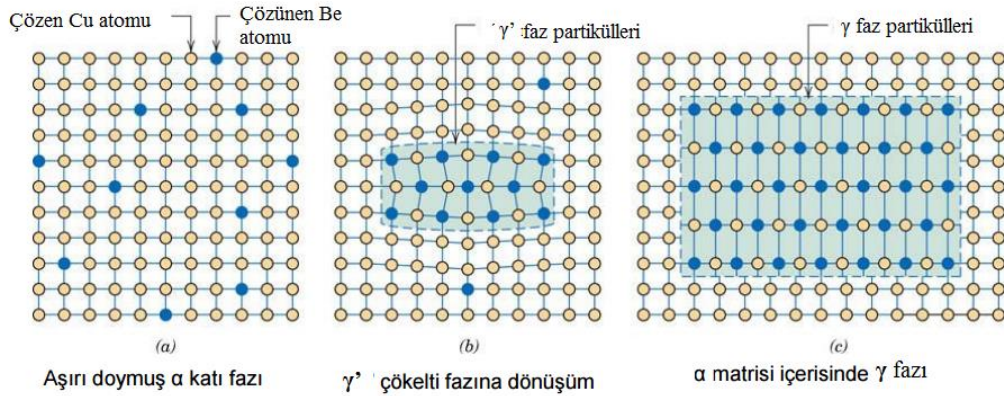
Şekil 2.1.9.3.3. Farklı yüzdelerde berilyum içeren bakır-berilyum alaşımlarının, yaşlandırma sonrası sertliğinin, zamana bağlı değişim eğrileri. [25].



Şekil 2.1.9.3.4. % 1,87 Be içeren bakır-berilyum alaşımının 800 °C de solüsyon tavlaması ve hızlı soğutulması ardından (a) 350 °C de 4 saat (b) 400 °C de 16 saat suni yaşlandırma sonrası mikroyapısı [17].



Şekil 2.1.9.3.4. (a) nın mikroyapısının da ilk olarak GP zonlarının dönüşümü görülmektedir. Suni yaşlandırma işleminin ileri aşamalarında γ' fazının çökeldiği görülmektedir. (b) nin mikroyapısının da artan sıcaklık ile HMK yapılı ötektoid γ fazı çökelmiş ve denge halinde bir yapı oluşmuş. Aşırı yaşlandırma ile sertlik düşüşü görülür [17].



Şekil 2.1.9.3.5. (a) Çözeltiye alınmış Cu-Be yapısı (b) γ' geçiş çözeltili fazı (c) Dengesel çökeltinin oluşumu (aşırı yaşlandırma) [26].

3. ALÜMİNYUM VE BERİLYUM BRONZLARINDA KIVILCIM ÇIKARMAYAN EL ALETİ ÜRETİMİ

Alüminyum bronzları ve berilyum bronzlarından yapılan el aletleri, patlama tehlikesi olan ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilen araç ve gereçlerdir. Çelikten yapılan el aletlerinin statik elektrik nedeniyle kıvılcım çıkarma riski bu ortamlarda patlama tehlikesi yaratırken, alüminyum bronzları ve berilyum bronzlarından yapılanlarda böyle bir tehlike yoktur. Kıvılcım çıkarmayan, mıknatıslanmayan ve korozyon dayanımlı olmak üzere üç değişik özelliği bir arada barındırırlar. Bu gereçler maden ocaklarında, hastanelerde oksijen tanklarında, kanalizasyon şebekesi içinde yapılan çalışmalarda, otomobil fabrikalarının boya bölümlerinde, tersanelerde ve petrol endüstrisinde çok kullanılır[1].

Kıvılcım Çıkarmayanlar: Maden ocakları, Kanalizasyon çalışmaları (şebeke içinde yapılan çalışmalar) Petrokimya tesislerinde,

Mıknatıslanmayan: Hastaneler (Oksijen tankları), Denizcilik, Otomobil fabrikalarında,

Korozyon Dayanımlı: Tersaneler, Asitlere dayanım gerektiren kimya tesislerinde kullanılırlar.

Üretilen el aletleri; Çekiç, anahtar, lokma, pense, kürek vs. olmaktadır. Her biri döküm ya da dövme yoluyla üretilir [1].

EN 13463-1 standart'ına göre üretilecek el aletlerinin malzeme kompozisyonlarındaki alaşım elementi miktarları;

- Donanım-grup 1 kategori M1 ve kategori M2 için;

Alüminyum, Magnezyum, Titanyum ve Zirkonyum'un toplamı % 15'ten fazla olmamalıdır. Magnezyum, Titanyum ve Zirkonyumun toplamı % 7,5'ten fazla olmamalıdır.

- Donanım-grup 2;

Kategori1 için Alüminyum, Magnezyum, Titanyum ve Zirkonyum'un toplamı % 10 dan fazla olmamalıdır. Magnezyum, Titanyum ve Zirkonyumun toplamı % 7,5'ten fazla olmamalıdır.

Kategori1 için Magnezyum % 7,5 den fazla olmamalıdır [28].



(a)



(b)

Şekil 3.1. (a) Berilyum bronzundan yapılan el aletleri (b) Alüminyum bronzundan yapılan el aletleri.

4. KIVILCIM OLUŞUMU VE ATEX

4.1 Kıvılcım Oluşumu

Metallerin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin cinsine ve oranına bağlı olarak, kıvılcım çıkarma riski artmaktadır. Alüminyum, Magnezyum, Titanyum ve Zirkonyum gibi elementler kıvılcımlanmayı arttırmalar. Kıvılcım oluşumu demir ve demir alaşımlarında sıklıkla görülen bir durumdur. Çeliklerde alaşım miktarı arttıkça (Cr-Ni-Co-W'lı çeliklerde) kıvılcım oluşumu azalmaktadır. Taşlama, zımparalama gibi işlemler sırasında çıkan küresel şekilli küçük talaşlar, alevlenme sıcaklığının üstüne çıkarlar. Ergime meydana gelir ve içlerinde oluşan CO₂ gibi gazlar patlama meydana getirirler. Ergime oluşumu nedeniyle ışıklanma olur. Bu olay sürtünmeden dolayı oluşan kıvılcım şeklidir ve metallerde sıklıkla görülür.

İkinci bir kıvılcımlanma ise; Maddeler birbirleriyle temas halinde olduğu sürece aralarında temas yüzeyi boyunca elektron transferi olur. İki maddenin temasının kesilmesi durumunda aralarındaki sınır tabakası ortadan kalkar ve maddelerden birinde negatif yük fazlalığı (negatif yüklenme) diğerinde ise elektron azlığı (pozitif yüklenme) meydana gelir. Oluşan bu iki ayrı yük birbirlerini çeker ve arada bulunan hava gibi yalıtkan olan bir ortam boyunca ark (kıvılcım) yaparak boşalır ve yük farklarını dengelerler. Meydana gelen bu kıvılcımın şiddeti iki yüzey arasındaki potansiyel fark ve geçiş ortamının direnciyle doğru orantılıdır. Bu sebeple iki yüzey arasındaki temas sürtünme yoluyla olursa deşarj arki daha fazla olur [29].

4.2 ATEX

Avrupa Birliği Organizasyonlarının ATEX direktifleri 1 Temmuz 2003 tarihinden itibaren uygulanmaya konulmuştur. ATEX, Fransızca "ATmosphères EXplosives" kelimelerinin ilk hecelerinin birleşiminden oluşmuş bir kelimedir ve Patlayıcı Atmosferler anlamına gelmektedir. Günümüzde Avrupa birliği ülkelerinde geçerli olan ve Avrupa dışında birçok ülkede de referans olarak kabul edilen ATEX yönetmelikleri patlayıcı ortamlar, güvenlik önlemleri ve burada kullanılan ekipmanların sahip olması gereken minimum şartları belirtmektedir.

- 94/9/EC (veya ATEX 95) Muhtemel patlayıcı ortamda kullanılan teçhizat ve koruyucu sistemler ile ilgili yönetmelik,

- 99/92/EC (veya ATEX 137) Patlayıcı ortamların tehlikelerinden çalışanların korunması hakkında yönetmelik.

94/9/EC yönetmeliği kullanılan ekipmanları, 99/99/EC yönetmeliği ise patlayıcı ortamı ve güvenlik önlemlerini ortaya koymaktadır. Ancak bu yönetmelikler içerik bakımından genelleştirilmiş ifadelerden oluşmaktadır. Bu yüzden ilgili ortam ve ekipmanların yönetmeliklere uyumunu belirlemek için ayrı ayrı standartlar ve sertifikasyon süreçleri tanımlanmıştır [30].

4.2.1. Exproof

Potansiyel yanıcı ve patlayıcı ortamlarda kullanılmak amacıyla özel olarak üretilen Ekipman ve Koruyucu Sistemlerin genel adıdır.



Şekil 4.2.1.1. Exproof sembolü [30].

Alevlenebilir kimyasallar ve petrol ürünlerinin (örneğin metan, alkol, asetilen, doğalgaz...) üretim, işletme, ulaştırma ve depolanmasında ortaya çıkabilecek gaz ve buhar kaçaklarının, atmosferin oksijeniyle birleşmesiyle, patlayıcı bir konsantrasyonu oluşturması kaçınılmazdır. Böylesi bir durumda elektrik enerjisinden doğabilecek, elektrik arkı, statik elektrik ya da aşırı yüzey sıcaklığı, mal ve can güvenliğini tehlikeye sokacak bir patlamaya yol açabilmektedir. Söz konusu tehlikeli ortamlarda kullanılan elektrik ekipmanlarının yapımı ve kullanımı normal sahalardaki uygulamalardan büyük farklılıklar göstermektedir. Bu tür malzemeler, konu ile ilgilenen meslek çevrelerince Ex-Proof (Alev sızdırmaz) elektrik malzemeleri olarak isimlendirilir [30].

94/9/AT ATEX DİREKTİFİ			
GRUP/KATEGORİ			
GRUP I			
MADENLER	Kategori M 1	Kategori M 2	
	Patlayıcı bir ortamın mevcudiyetinde teçhizat çalışmayı sürdürür. (I M 1)	Patlayıcı bir ortam algılandığı zaman teçhizatın enerjisi kesilir. (I M 2)	
GRUP II			
YER ÜSTÜ ENDÜSTRİLERİ	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Gaz-Ex	II 1 G (Zon 0)	II 2 G (Zon 1)	II 3 G (Zon 2)
Toz-Ex	II 1 D (Zon 20)	II 2 D (Zon 21)	II 3 D (Zon 22)

Şekil 4.2.1.2. Exproof alet grup ve kategorileri [31]

Kullanımdaki karmaşayı önlemek için ATEX 100a patlayıcı ortamlarda kullanılan aletleri grup ve kategorilere ayırmıştır.

GRUP 1: Maden ocakları ve yerüstü tesislerini kısaca maden sektörünü kapsar.

Kategori M1: Yüksek korumalı kendinden emniyetli zone 0-20 düzeyde çalışılabilecek düzeyde ATEX sertifikalı.

Kategori M2: Patlayıcı ortam olduğunda elektriğinin kesilmesi gereken alet kategorisi.

GRUP 2: Maden sanayi dışındaki tüm sanayi kollarını kapsar. Tehlike bölgeleri 3 ayrı zone'a ayrılmıştır. Kategori rakamlarının sonuna gaz ise G toz ise D ibaresi yerleştirilir.

Kategori 1G veya 1D : M1 de olduğu gibi yüksek korumalı kendinden emniyetli zone 0-20 düzeyde çalışılabilecek düzeyde ATEX sertifikalı.

Kategori 2G veya 2D : Normal çalışmalarında olduğu gibi arıza hallerinde de tehlike oluşturmayacak ATEX sertifikalı aletler. Etiketlerinde 2g veya 2d yazan aletler zone 1-21 de kullanılır.

Kategori 3G veya 3D : Normal çalışmalarında ortamı tehlikeye düşürmeyecek ATEX sertifikalı. Zone 2-22 de kullanılabilir.

Patlayıcı, parlayıcı ve kolay yanıcı ortamlarda kullanılan ekipmanların üzerlerinde özel kodlar bulunmaktadır. Amaç tehlikeli ortamlarda çalışan personelin bu kodlara dikkat ederek doğru ekipmanı doğru bölgede kullanmasıdır. Her exproof ekipman her bölgede kullanılamaz. Patlamaların çoğu yanlış bölgede yanlış alet seçiminden kaynaklanır.

Üst kategorilerdeki aletler alt kategorilerde de kullanılabilir. Fakat alt kategorilerdeki aletler üst kategorilerde asla kullanılamaz. Kategorisi 1 olan bir alet ZONE 0-ZONE 1-ZONE 2 de rahatlıkla kullanılır. Ancak kategorisi 2 olan bir alet ZONE 0 da asla kullanılamaz [30].

4.2.2. Patlama ve Patlayıcı Ortam Nedir?

Çok hızlı bir gaz genişlemesi ile ve genellikle ısı açığa çıkmasıyla meydana gelen bir kimyasal reaksiyon veya değişimdir. Patlama çevresindeki ortamda bir şok dalgası oluşturur.

Genel olarak patlamalar kapalı yerlerde meydana gelir. Kapalı bir yerde bir tank içerisinde veya bir bina içerisinde yanabilecek bir gaz veya parlayıcı sıvı buharı olduğu zaman, çok küçük bir kıvılcım ile tutuşur. Alev tutuşma noktasından başlayarak süratle kapalı hacim içinde yayılır. İçeride bulunan gazın sıcaklığı artar ve gaz genişler. Genleşen gaz ileriye doğru basınç dalgaları şeklinde hareket ederek alevin önündeki gazı sıkıştırır ve gaz sıkışma sonucu daha fazla ısınır. Alev bu sıkışan bölüme ulaştığı zaman burada da büyük bir hızla yanmaya devam eder. Yanmanın olduğu yer kısmen veya tamamen kapalı olduğu için, yanmanın en yüksek hıza eriştiği zaman patlama olur.

Toz ve halindeki katı parçacıkların da havayla (oksijenle) belirli oranları patlayıcıdır. Eğer ateşleyici bir kaynak varsa bu parçacıklar patlama ile yanmaya başlarlar ve civardaki toz ve hava karışımlarını da ateşleyerek seri patlamalar haline dönüşebilirler.

Bir tozun patlaması için yanabilir olması gerekir ancak her yanıcı toz patlar anlamına gelmez. Patlama içinde parlamada olduğu gibi belirli konsantrasyon limitleri vardır ki buna patlama aralıkları denir. Bu aralıkların altındaki ve üstündeki konsantrasyonlarda patlama olmaz.

Tanımlardan da anlaşıldığı gibi maddelerin yanma ve patlama özellikleri onların alev alma noktalarına yani parlama noktalarına bağlıdır.

Parlama noktaları önemlidir çünkü sıvının kendisi değil buharı yangın tehlikesini yaratır. Parlama noktası düştükçe yangın tehlikesi artar. Atmosfer sıcaklığından daha düşük parlama noktasına sahip sıvılar ısının etkisi ile büyük miktarlarda buhar oluştururlar.

Patlayıcı, parlayıcı ve yanıcı nitelikteki gaz, toz veya buharın hava ile karışarak patlayıcı kıvama geldikleri yerlere patlayıcı ortam denir. Patlayıcı ortam oluşması ve tehlike yaratabilmesi için üç unsurun bir araya gelmesi gerekir [30].



Şekil 4.2.2.1. Patlama üçgeni.

Patlayıcı, parlayıcı ve yanıcı gaz, buhar veya toz, Hava (Oksijen), Enerji, patlamayı ateşleyecek bir kıvılcım veya güç kaynağı. Bu üç unsurdan biri devre dışı edilebilirse patlama tehlikesi kalmaz [30].

3.2.3. Patlayıcı Ortamların Sınıflandırılması

Patlayıcı ortamlar patlama tehlikelerine göre sınıflandırılmakta ve bu sınıflandırmaya göre de elektrikli veya mekanik teçhizat seçimi yapılmaktadır. Latince ile ZONE Türkçesi ile BÖLGE tabir edilen bu sınıflandırma ve kullanılacak alet kategorileri aşağıdaki gibidir.

ZONE 0: Normal çalışma koşullarında patlayıcı ortam oluşan (ve oluşma ihtimali yüksek olan) ve oluştuğu an uzun süren yerler ZONE 0 kapsamına girer. Patlayıcı madde kaplarının içi ve patlayıcı işleyen aparatların (buharlaştırıcı, reaksiyon kapları) iç kısımları gibi yerler bu gruba girer.

ZONE 1: Normal çalışma icabı patlayıcı ortam teşekkül etme ihtimali az olan (veya hiç olmayan), yalnızca arıza ve anormal çalışma koşullarında ve tesadüfen patlayıcı ortam oluşabilen veya oluşma ihtimali olan ve yine oluştuğunda da kısa süren yerler bu gruba girer. Mevcut patlayıcı ortamların %95'inden fazlası bu gruba girmektedir. ATEX 100a'ya göre 2. kategorideki aletler ZONE 1 de kullanılabilir. Hemen hemen ex-sertifikalı tüm aletler bu kategoriye girmektedir.

ZONE 2: Normal çalışma icabı patlayıcı ortam teşekkül etme ihtimali olmayan ve ayrıca arıza, kaza, tamir, bakım gibi hallerde de patlayıcı ortam teşekkül etme ihtimali çok az olan ve bu gibi hallerde de çok kısa süren (sürme ihtimali) olan yerler ZONE 2 kapsamına girerler. ATEX 100a ya göre 3. kategorideki aletler ZONE 2 de kullanılabilir. Bu kategorideki aletlerin ex-sertifikaları olmakla birlikte diğer kategoriler gibi sıkı şartlara bağlı değildir.

Tozlar için ayrı bir ZONE tarifi (ATEX137) yapılmış olup, gaz ve buharların aynısıdır.

ZONE 20: Normal çalışma icabı patlayıcı toz ve lif ortamı oluşan ve oluşma ihtimali yüksek olan ve uzun süren yerler.

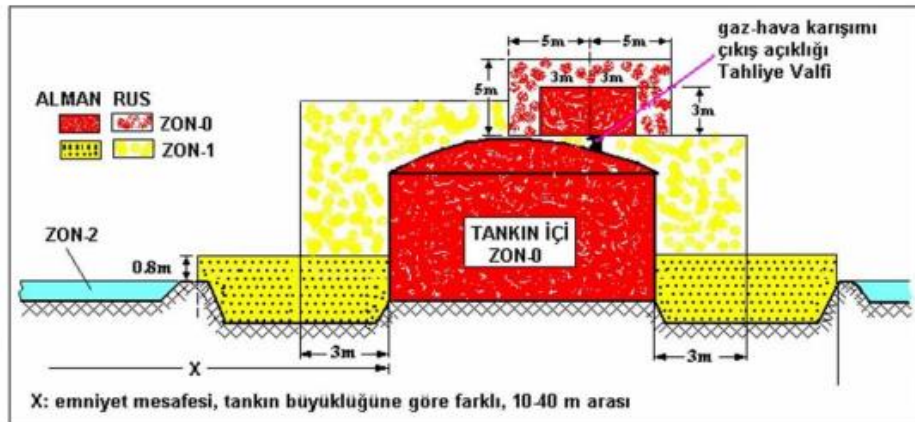
ZONE 21: Normal çalışma icabı patlayıcı toz ve lif ortamı teşekkül etme ihtimali az olan ve oluştuğunda da kısa süren yerler.

ZONE 22: Normal çalışma icabı patlayıcı toz veya lif oluşma ihtimali olmayan ve ancak arıza ve kaza gibi anormal hallerde oluşabilen ve bu durumların da çok kısa sürme ihtimali olan yerler bu gruba girer.

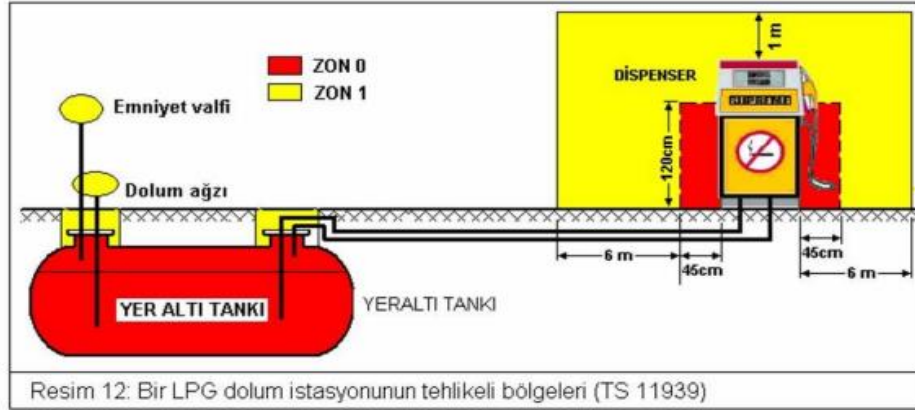
Zone sisteminde patlayıcı gazlar G ve tozlar da D harfi ile gösterilmektedir [30].



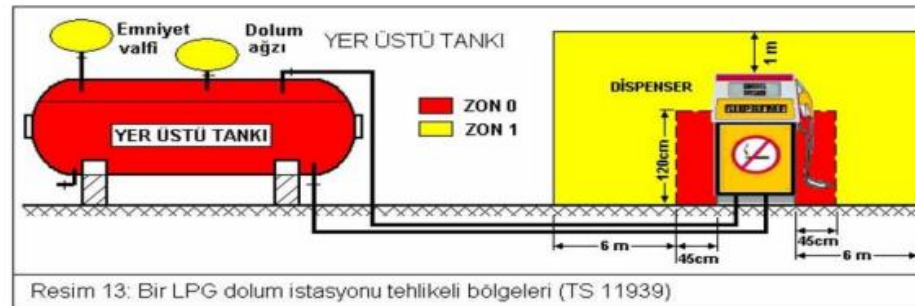
Zon 0 : Kırmızı
Zon 1 : Turuncu
Zon 2 : Sarı



Resim 08: BİR BENZİN TANKININ TEHLİKELİ KABUL EDİLEN BÖLGELERİ



Resim 12: Bir LPG dolun istasyonunun tehlikeli bölgeleri (TS 11939)



Resim 13: Bir LPG dolun istasyonu tehlikeli bölgeleri (TS 11939)

Şekil 4.2.3.1. Örnek Zone 'lar.

5. DENEYSEL KISIM

5.1. Malzeme Özellikleri

Deneysel çalışmada kıvılcım çıkarmayan Yıldız çakma anahtar üretimi için, Alüminyum bronzu ve Berilyum bronzu malzemeler kullanılmıştır. Malzemeler 50x300mm ebatlarında yuvarlak olarak alınmıştır.



Şekil 5.1.1. a) Alüminyum bronzu yuvarlak malzeme b) Berilyum bronzu yuvarlak malzeme.

Tablo 5.1.1. Alüminyum bronzu kimyasal kompozisyonu (Cubral 4M).

UNS No: 63020 CuAl10Ni5Fe4 | 2.0966									
Kimyasal	%Al	%Ni	%Fe	%Mn	%Si	%Pb	%Zn	%Sn	%Cu
Kompozisyon	9,96	4,46	3,96	0,84	0,121	0,014	0,143	0,045	Kalan

Tablo 5.1.2. Berilyum bronzu kimyasal kompozisyonu (CubroB2).

DIN 17672 – W. Nr. 2. 1247, EN: 101C, AFNOR: Ube2, USA CDA: C17200, RWMA: Class 4					
Kimyasal	%Be	%Co	%Fe	%Ni	%Cu
Kompozisyon	0,196	0,23	0,025	0,23	Kalan

Her iki malzemede EN 13463-1 standart'ına göre donanım-grup 1 ve donanım-grup 2 de belirtilen malzeme kriterlerini karşılamaktadır (Bk. EKA IEP.Rp.Ex.10-952 sf :3 Hafif metalleri içeren donanımlar).

5.2. Deney Akış Şeması



Şekil 5.2.1. Alüminyum ve berilyum bronzundan kıvılcım çıkarmayan el aleti üretimi akış şeması.

5.3. Dövmeye

Şahmerdan ile ön şekillendirme, kapalı kalıpta sıcak dövme ve çapak alma işlemleri İzeltaş A.Ş. dövme departmanının da yapılmıştır.

5.3.1. Şahmerdan Ön Şekillendirme

50x300mm ebatlarındaki hammaddeler testerede ikiye bölünerek elektrikli fırında, 10 adet alüminyum bronz 900 °C'ye, 10 adet berilyum bronz 720 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıklarda her 1 inç kalınlık için 1 saat fırında bekletilmiştir.



Şekil 5.3.1.1. Isıtmanın yapıldığı elektrikli fırın.



Şekil 5.3.1.2. Ön şekillendirmenin yapıldığı şahmerdan.

Merkezine kadar ısınan alüminyum bronzu ve berilyum bronzu numuneler 75 kg lık şahmerdan çekicinde, dövme işleminde Yıldız Çakma Anahtarın tam şekillenmesi ve rahat bir dövme işlemi için ön şekline getirilmiştir.



Şekil 5.3.1.3. Ön şekillendirilmiş ürünler.

5.3.2. Sıcak Dövme

Şahmerdan ile ön şekillenen alüminyum bronzu ve berilyum bronzu numuneler, sıcak dövme işlemi için tekrardan elektrikli fırında ısıtılmıştır. Alüminyum bronzu numuneler 900 °C'ye, berilyum bronzu numuneler 720 °C'ye ısıtılıp, bu sıcaklıklarda merkezine kadar ısınmaları için, her 1 inç kalınlık için 1 saat fırında bekletilmiştir.

Numune ürünler 1600 kg kapasiteye sahip hidrolik dövme presinde kapalı kalıpta sıcak dövme yöntemi ile şekillendirilmiştir. Şekillendirme işleminde kullanılan kalıplar 1.2714 (55NiCrMoV7) sıcak iş takım malzemesinden yapılmış olup, hazırda bulunan 50mm yıldız çakma anahtar kalıbı kullanılmıştır.



Şekil 5.3.2.1. Dövme presi (Lasco 1600kg). **Şekil 5.3.2.2.** Fırında ısıtılan ön şekillendirilmiş numuneler.



Şekil 5.3.2.3. Kapalı kalıpta sıcak dövme.



Şekil 5.3.2.4. Dövmüş yıldız çakma anahtarlar (çapaklı).

Dövme işlemi sonrasında numunelere durgun havada kendince soğumaya bırakılmışlardır.

5.4. Çapak Alma ve Diş Açma

Dövme işlemi sonrasında soğuyan alüminyum ve berilyum bronzu numunelerin ilk olarak kenar çapakları daha sonrada göbek kısmının çapağı çapak alıcı presler de alınmıştır.

Çapakları alınan numunelerin kafa kısımlarına broş çekilerek dişleri açılmıştır. Yıldız ağız broş çekme işlemi İzeltaş A.Ş. işleme atölyesinde yapılmıştır.



Şekil 5.4.1. Çapağı alınmış, yıldız broşu çekilmiş, yıldız çakma anahtarlar.

5.5. Dövmeye Sonrası Deneysel Çalışmalar

Dövmeye sonrası metalografik olarak numunelerin hazırlanması İzeltaş A.Ş. Ar-ge Merkezi Laboratuvarında, numunelerin metal mikroskopunda mikroyapı incelemeleri Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

5.5.1. Mikro Yapı İncelemesi

Çapağı alınıp dişleri açılan alüminyum ve berilyum bronzu numunelerin birer adetlerin den, laboratuvar tipi kesme makinesi ile mikroyapı numuneleri çıkarılmıştır. Numuneler sıcak kalıplama yöntemi ile kalıba alınmıştır.



(a)

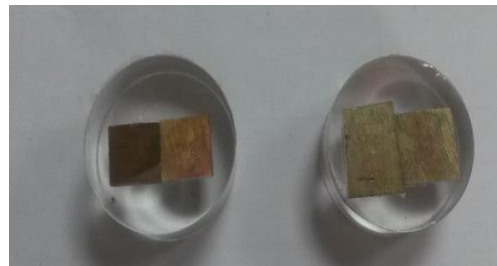


(b)

Şekil 5.5.1.1. a) Laboratuvar tipi kesme makinesi (Metacut/Metkon) b) Sıcak kalıplama makinesi (Digipress/Metkon)



(a)



(b)

Şekil 5.5.1.2. a) Zımpara ve parlatma makinesi (Gripo/Metkon) b) Sıcak kalıplanan alüminyum ve berilyum mikroyapı numuneleri.

Kalıba alınan mikroyapı numuneleri ilk olarak P400, P800, P1000, P1200 ve P2000 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler $1 \mu m$ ' lik parlatma keçesi ve $1 \mu m$ ' lik elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler su ile güzelce yıkanıp yüzeylerine alkol püskürtülerek güzelce kurutulmuştur.

Parlatma işleminden sonra alüminyum ve berilyum bronz numunelerine dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi için;

Alüminyum bronzu : 50 ml HNO₃ + 20 gr CrO₃ + 75 ml su

Berilyum bronzu : 20 ml NH₄OH + 3-4 damla H₂O₂ + 10 ml su.

Dağlama sonrası numune yüzeyleri alkol ile temizlenip kurutulmuştur. Dağlama ile açığa çıkan mikro yapılar metal mikroskobu ile incelenmiştir.



Şekil 5.5.1.3. Metal mikroskobu (Nikon).

5.6. Isıl İşlem

Alüminyum bronz ve berilyum bronzundan üretilen yıldız çakma anahtarların ısıtılması İzeltaş A.Ş. Isıl İşlem bölümünde yapılmıştır.

5.6.1 Alüminyum Bronzunun Isıl İşlemi

Alüminyum bronzundan 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.

5.6.2 Berilyum Bronzunun Isıl İşlemi

Berilyum bronzundan 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.

5.7. Isıl İşlem Sonrası Deneysel Çalışmalar

Isıl işlem sonrası metalografik olarak numunelerin hazırlanması, sertlik testi, çekme ve çentik darbe test numunelerinin hazırlanması İzeltaş A.Ş. Ar-ge Merkezi Laboratuvarında, numunelerin mikroyapı incelemeleri, çekme ve çentik darbe testleri Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

5.7.1. Sertlik Testi

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 ürününün asıl malzemesi olan 31CrV3 çeliğinden üretilen ürünün de Brinell sertlik değerine karşılaştırma amacıyla bakılmıştır.



Şekil 5.7.1.1. Brinell sertlik ölçme cihazı (Karl Frank).

5.7.2. Mikro Yapı İncelemesi

Alüminyum bronzu yıldız çakma anahtarlarının sertleştirme ve meneviş işlemleri sonrası mikroyapı numuneleri hazırlanmıştır.

Berilyum bronzu yıldız çakma anahtarlarının hızlı soğutma ve suni yaşlandırma sonrası mikro yapı numuneleri hazırlanmıştır.

Laboratuar tipi kesme makinesi ile mikroyapı numuneleri çıkarılmıştır. Numuneler sıcak kalıplama yöntemi ile kalıba alınmıştır. Kalıba alınan mikroyapı numuneleri ilk olarak P400, P800, P1000, P1200 ve P2000 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler $1 \mu m$ lik parlatma keçesi ve $1 \mu m$ lik elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler su ile güzelce yıkanıp yüzeylerine alkol püskürtülerek güzelce kurutulmuştur.

Parlatma işleminden sonra alüminyum ve berilyum bronzu numunelerine dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi için;

Alüminyum bronzu : 50 ml HNO₃ + 20 gr CrO₃ + 75 ml su

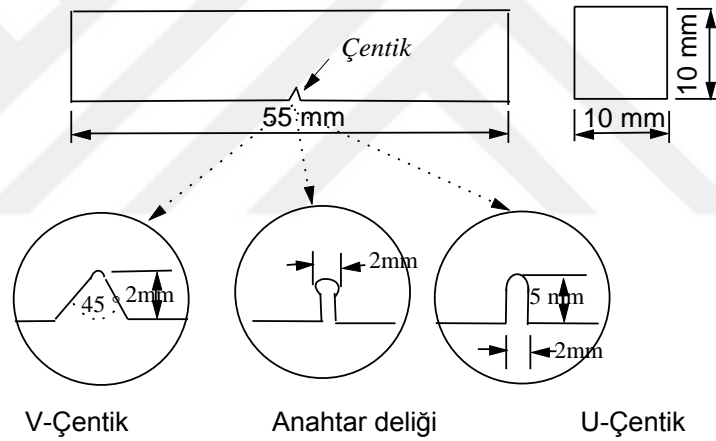
Berilyum bronzu : 20 ml NH₄OH + 3-4 damla H₂O₂ + 10 ml su.

Dağlama sonrası numune yüzeyleri alkol ile temizlenip kurutulmuştur. Dağlama ile açığa çıkan mikroyapılar metal mikroskobu ile incelenmiştir.

5.7.3. Çentik Darbe ve Çekme Testleri

Alüminyum bronzu, berilyum bronzu ve çelik malzemeden üretilen yıldız çakma anahtarlardan ısıl işlem sonrası 3 er adet çekme ve çentik darbe numuneleri hazırlanmış ve testleri yapılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla yıldız çakma anahtarın çelik malzemesi 31CrV3 den de numuneler hazırlanıp onlara da çentik darbe ve çekme testleri uygulanmıştır.

Çentik darbe testi numuneleri; Şekil 4.7.3.1 de verilen ölçülerde V çentik açılarak hazırlanmıştır.

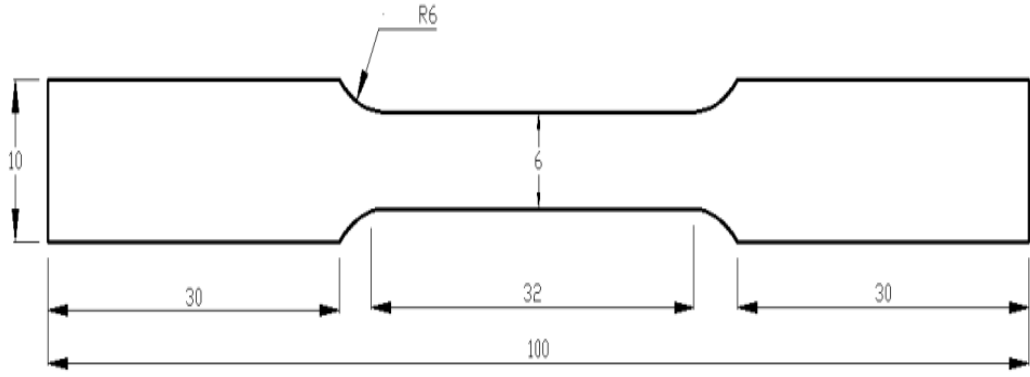


Şekil 5.7.3.1. Çentik darbe testi numune ebatları.



Şekil 5.7.3.2. Çentik darbe V çentik test numunesi.

Çekme testi numuneleri; Şekil 4.7.3.3. de ASTM E 8M-04 verilen ölçülerde hazırlanmıştır.



Şekil 5.7.3.3. ASTM E 8M-04 Standart'ına göre 2mm kalınlıktaki çekme test numunesi ölçüleri.

Hazırlanan test numuneleri Schimadzu Autograph 100 kN çekme basma cihazında 2 mm/dak hızda çekme testi yapılmıştır.



Şekil 5.7.3.4. Schimadzu Autograph 100 kN çekme-basma cihazı.



Şekil 5.7.3.5. Çekme testi test numuneleri.

5.8. SEM ve EDS Analizi İncelemeleri

Metalografik olarak hazırlanan numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri 9 Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında çekilmiştir. SEM görüntüsü ve EDS analizi için numuneler;

- Her iki malzemenin dövme sonrası.
- Cu-Be alaşımının yaşlandırma sonrası.
- Cu-Al alaşımının sertleştirme, 515 °C meneviş, 650 °C meneviş, 675 °C meneviş sonrası alınmıştır.

EDS analizi ile mikro yapı içindeki fazların kimyasal bileşimlerine bakılmıştır.

5.9. Kıvılcım Testi

Alüminyum ve berilyum bronzundan üretilen yıldız çakma anahtar numunelerinden, birer adet IEP Enerji Petrol Enstitüsü ne gönderilmiştir. EN 13463-1 Potansiyel patlayıcı ortamlar için elektrikli olmayan donanımlar - bölüm 1: temel metot ve kurallar ve EN 1127-1 Patlayıcı ortamlar - Patlamayı önleme ve korunma - Bölüm 1: Temel kavramlar ve metodoloji standartlarına göre ürünler incelenmiş, kıvılcım testine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.9.1 Kıvılcım testi.

5.10. Ansys Analizi

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. Yıldız çakma anahtar için standart'ın belirttiği bir moment değeri yoktur. Fakat Ansys programında analizin yapılabilmesi için, TS ISO 1711-1 Vidalar ve somunlar için montaj takımları - Teknik özellikler bölüm 1: Elle çalıştırılan açık ağızlı, yıldız ağızlı ve geçme (lokma) anahtarlar standart'ın da, yıldız anahtarlar için verilen 2.512 N.m yük uygulanmıştır. Gerilim dağılımları incelenmiştir. Malzeme farklılıklarına göre de uygulanan yüke bağlı güvenlik katsayıları bulunmuştur.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Sertlik Testi Sonuçları

Isıl işlemi yapılan numunelerin sertlik test sonuçları Tablo 6.1.1. de verilmiştir.

Tablo 6.1.1. Isıl işlem sonrası sertlik değerleri.

Malzeme	Sertleştirme Sıcaklığı(°C)/Soğutma Ortamı	Sertleştirme Sonrası Sertlik (HB)	Meneviş Sıcaklığı(°C) /Süre(Dakika)	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	Solüsyona Alma Sıcaklığı(°C)/Soğutma Ortamı	1.Yaşlandırma Sıcaklığı(°C)// Süre(Dakika)	2.Yaşlandırma Sıcaklığı(°C)// Süre(Dakika)	Sertlik (HB)
Cu-Be (CubroB2)	800/Su	250/180	305/180	317-345

Tablo 6.1.1. incelendiğinde;

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

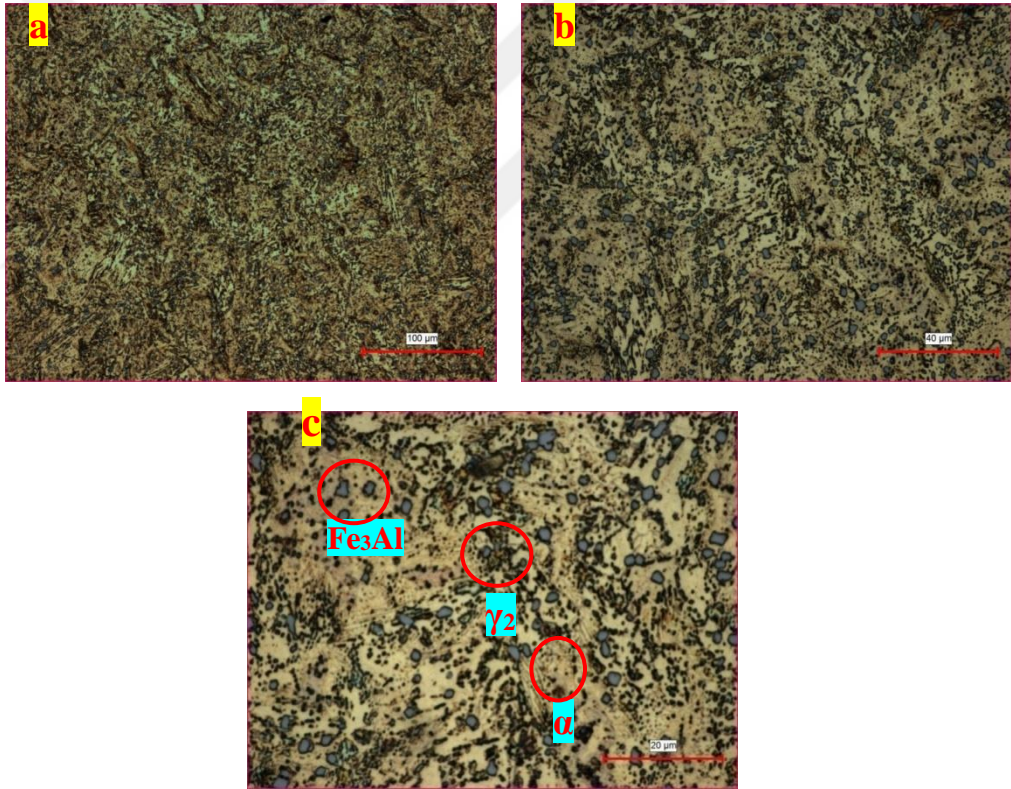
Cu-Be (CubroB2) malzemenin Çökelme sertleştirme sonrası, sertliği 317-345 HB olarak ölçülmüştür.

6.2. Mikroyapı İncelemeleri

Malzemelerin mikroyapı incelemeleri Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Nikon marka metal mikroskobunda ve SEM (Scanning Elektron Microscobe) incelemeleri de 9 Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Jeol marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

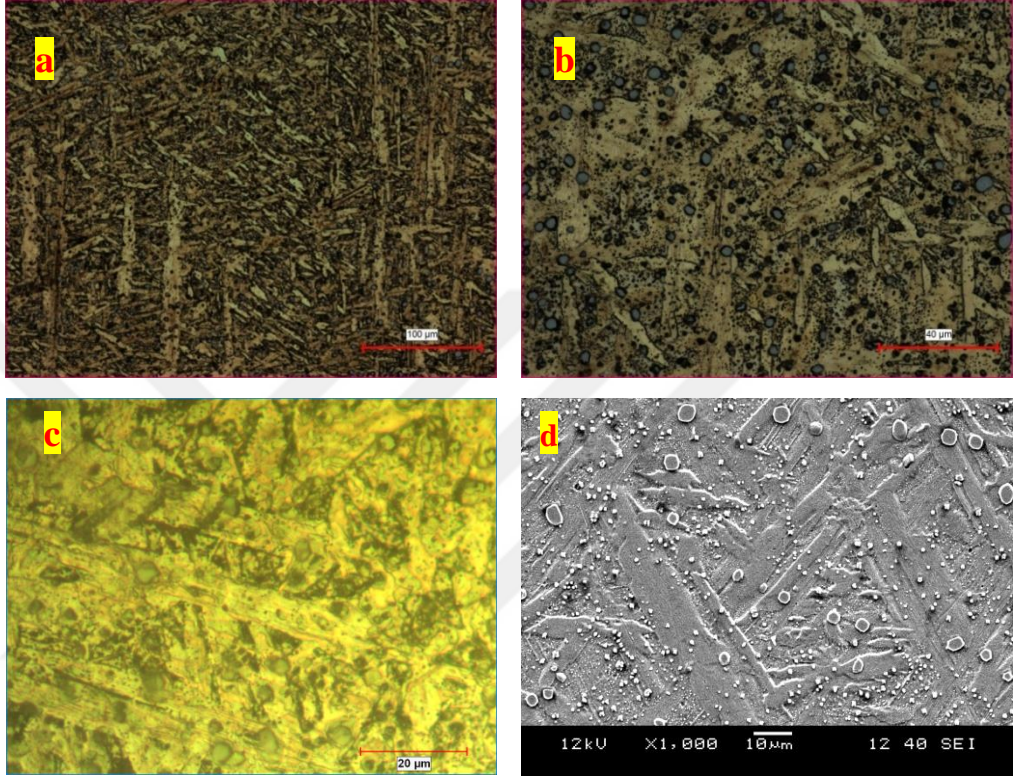
6.2.1. Alüminyum Bronzunun Mikroyapı İncelemeleri

% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının döküm+dövme (yuvarlak şekillendirme) sonrası mikroyapı görüntüleri Şekil 6.2.1.1. de resimlenmiştir. Mikroyapı da α -Cu (açık renkli)+ γ_2 (Ni₃Al) (koyu renkli) yapısının yanında Fe (Fe₃Al) alaşım elementinin meydana getirdiği intermetalik çökeltiler görülmektedir.



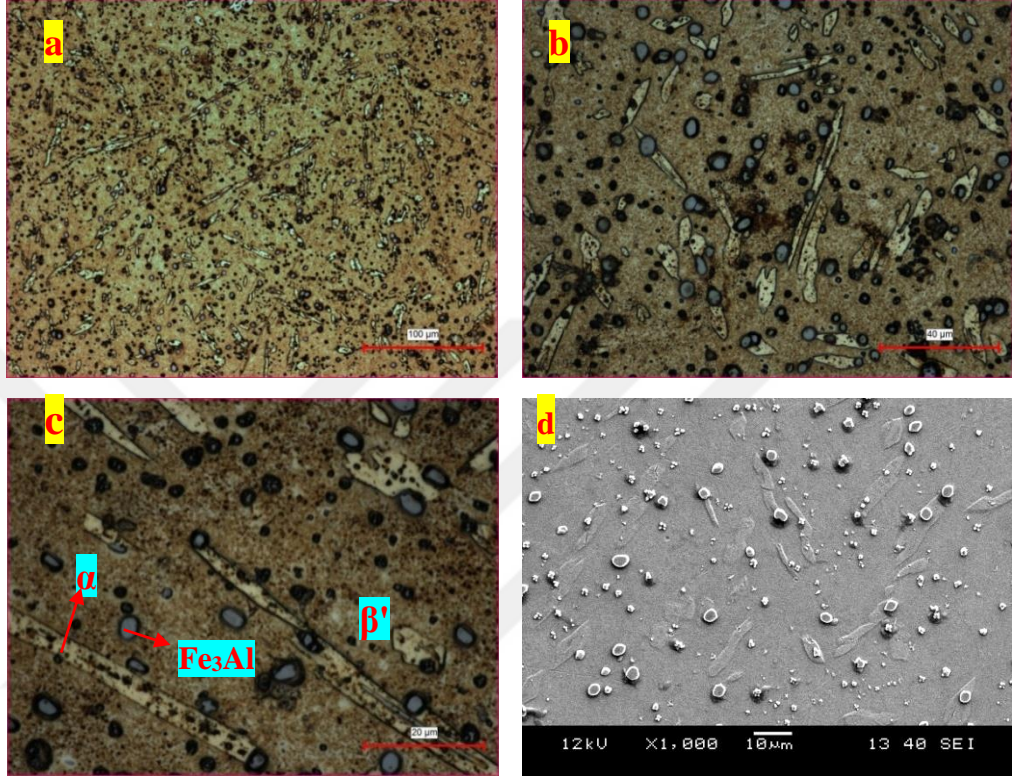
Şekil 6.2.1.1. Hammadde Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.

% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 900 °C derecede 1 saat ısıtılıp kapalı kalıpta yıldız çakma anahtar formuna şekillendirilmesi sonrası mikroyapı ve SEM görüntüleri Şekil 6.2.1.2. de resimlenmiştir. Mikroyapı da dövme sonrası α fazının dentritik bir yapıya dönüştüğü, γ_2 yapısının varlığının daha az olduğu ve gri renkli Fe_3Al intermetalik çökeltileri görülmektedir.



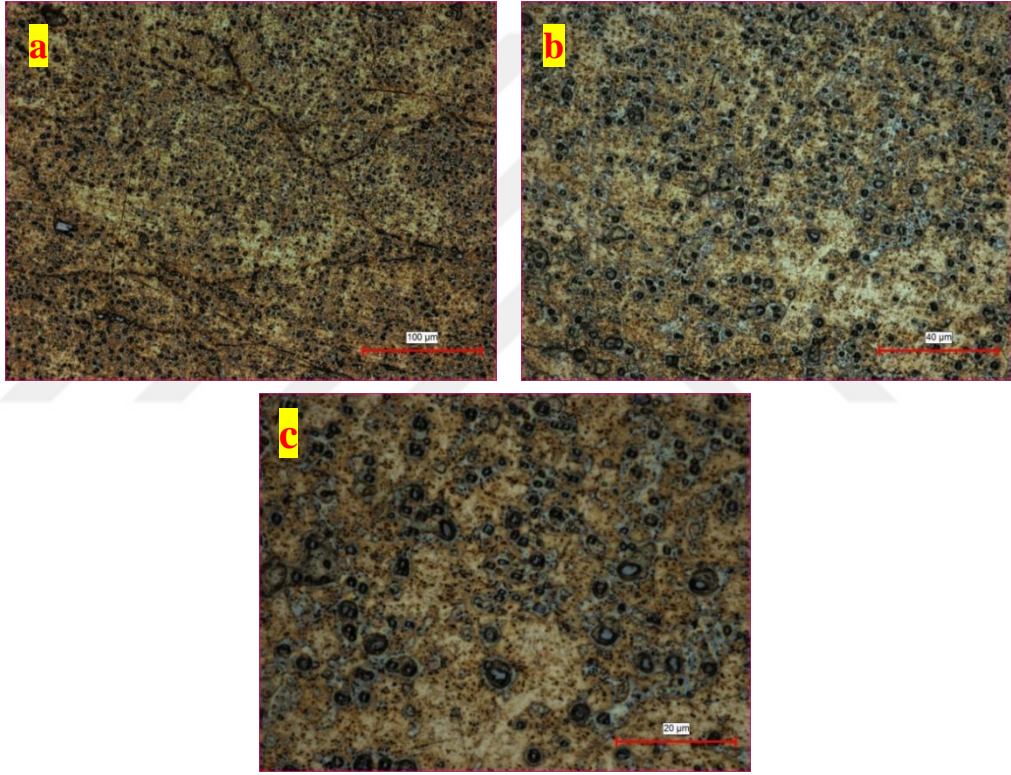
Şekil 6.2.1.2. 900 °C derecede dövme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d)1000x büyütme SEM görüntüleri.

% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının 860 °C derecede 1 saat ısıtıldıktan sonra, 50 °C derecede ki su da hızlı soğutulması ile oluşan mikroyapı ve SEM görüntüleri Şekil 6.2.1.3. de resimlenmiştir. Matris fazı β' martenzit yapı olup, yapıda yumuşak α tane yapısının ince uzun bir hal aldığı görülmektedir. Yapı içerisinde yine intermetalik çökelmeler görülmektedir.

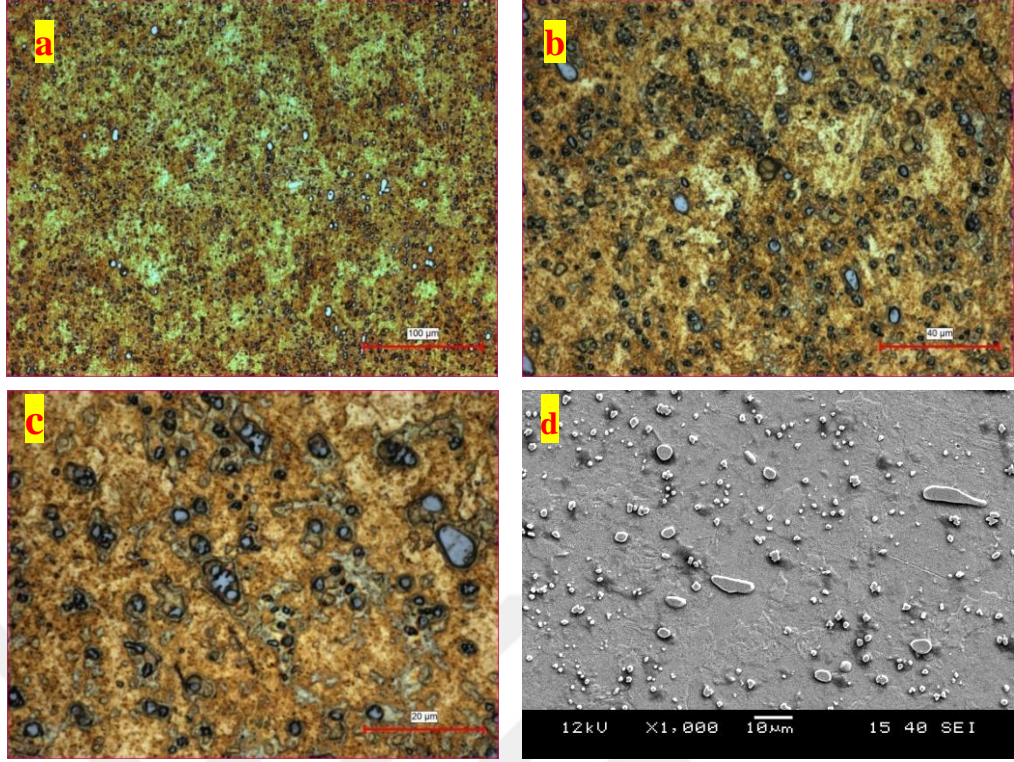


Şekil 6.2.1.3. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.

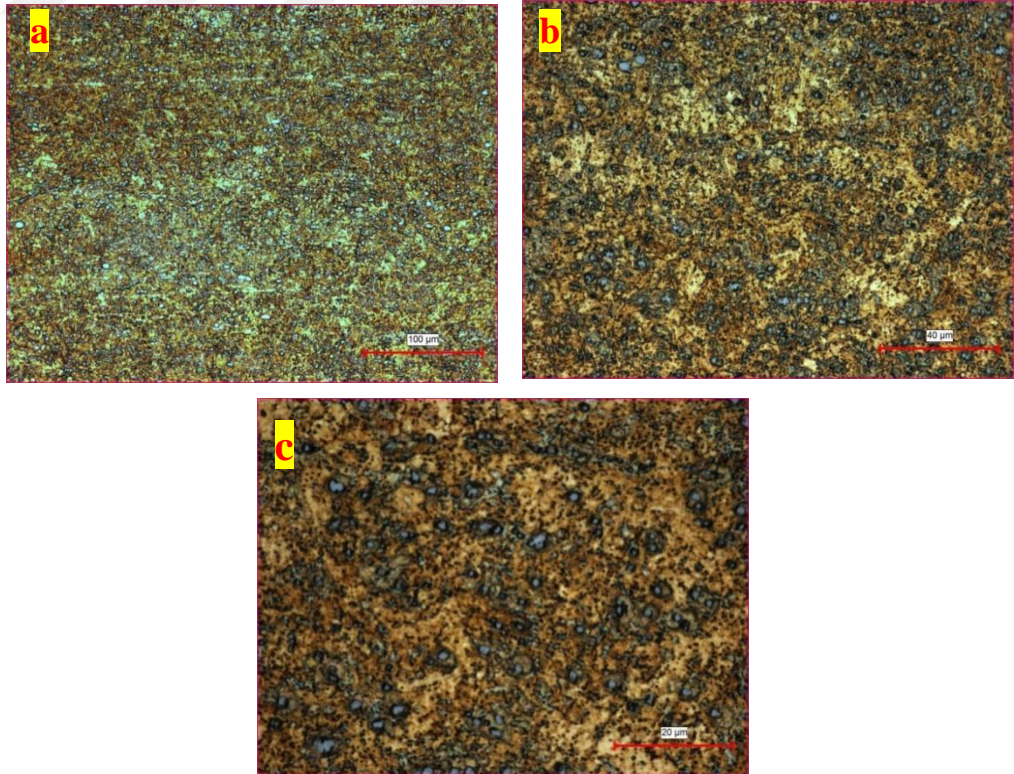
% 10 Al içeren Cu-Al alaşımının sertleştirme sonrası 2 şer saat farklı meneviş sıcaklıklarında tutulması ile oluşan mikroyapı görüntüleri Şekil 6.2.1.4., Şekil 6.2.1.5., Şekil 6.2.1.6., Şekil 6.2.1.7., Şekil 6.2.1.8., Şekil 6.2.1.9. da resimlenmiştir. 515 °C, 650 °C, 675 °C meneviş sıcaklıklarının SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.2.1.5., Şekil 6.2.1.7. ve Şekil 6.2.1.8. de SEM görüntüleri resimlenmiştir. Artan meneviş sıcaklıkları ile yapıda β' martenzit yapısından ince taneli α (açık renkli)+ γ_2 (koyu renkli) yapısının oluşumu görülmektedir. Özellikle 600 °C üzerinde α yapısının büyümesi tokluk ve sünekliliği artırmıştır. 675 °C ve 700 °C de benzer mikroyapılar görülmüştür. SEM görüntülerinde İntermetalik çökeltilerin artan meneviş sıcaklıkları ile küçüldüğü gözlemlenmektedir.



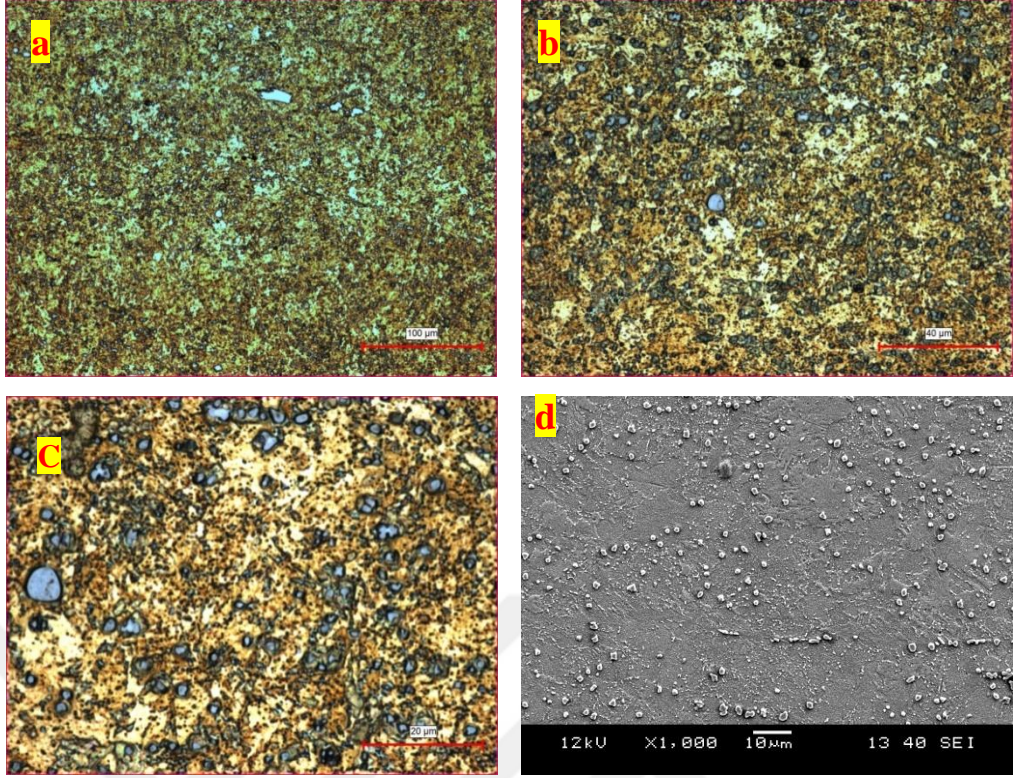
Şekil 6.2.1.4. 400 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.



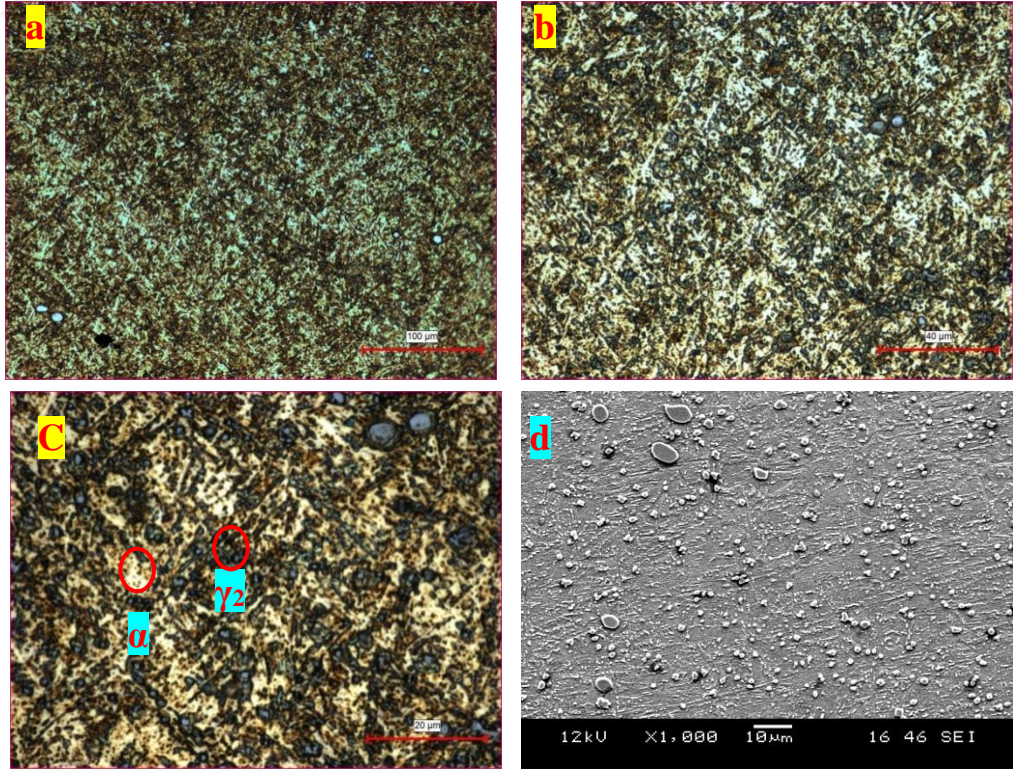
Şekil 6.2.1.5. 515 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.



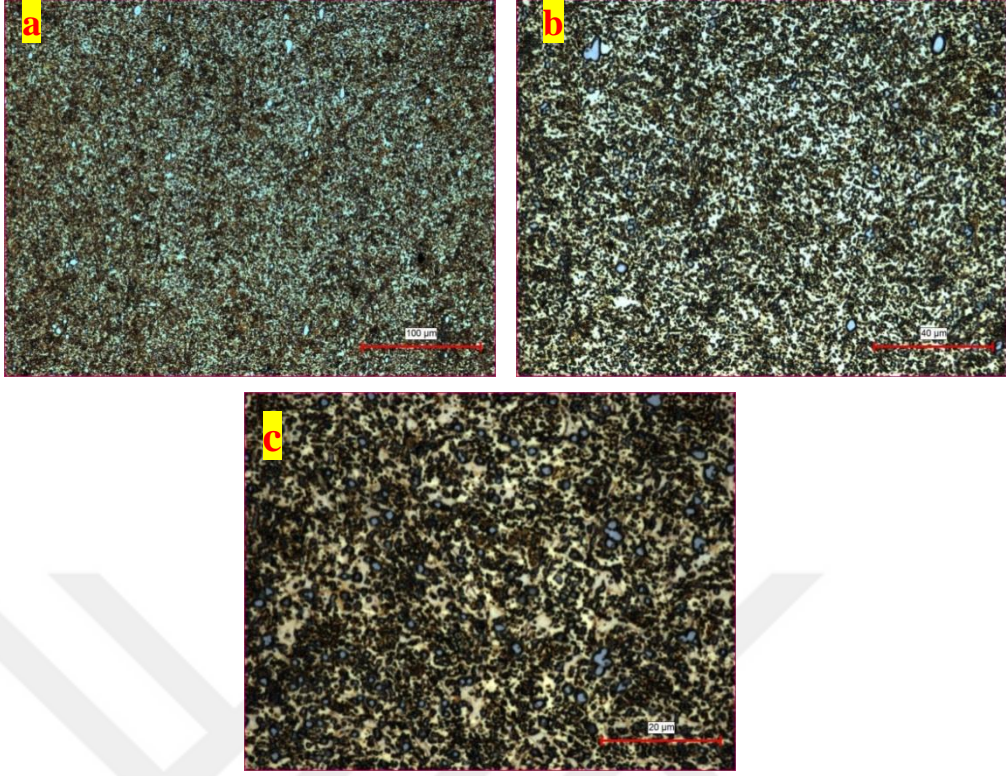
Şekil 6.2.1.6. 600 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.2.1.7. 650 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.



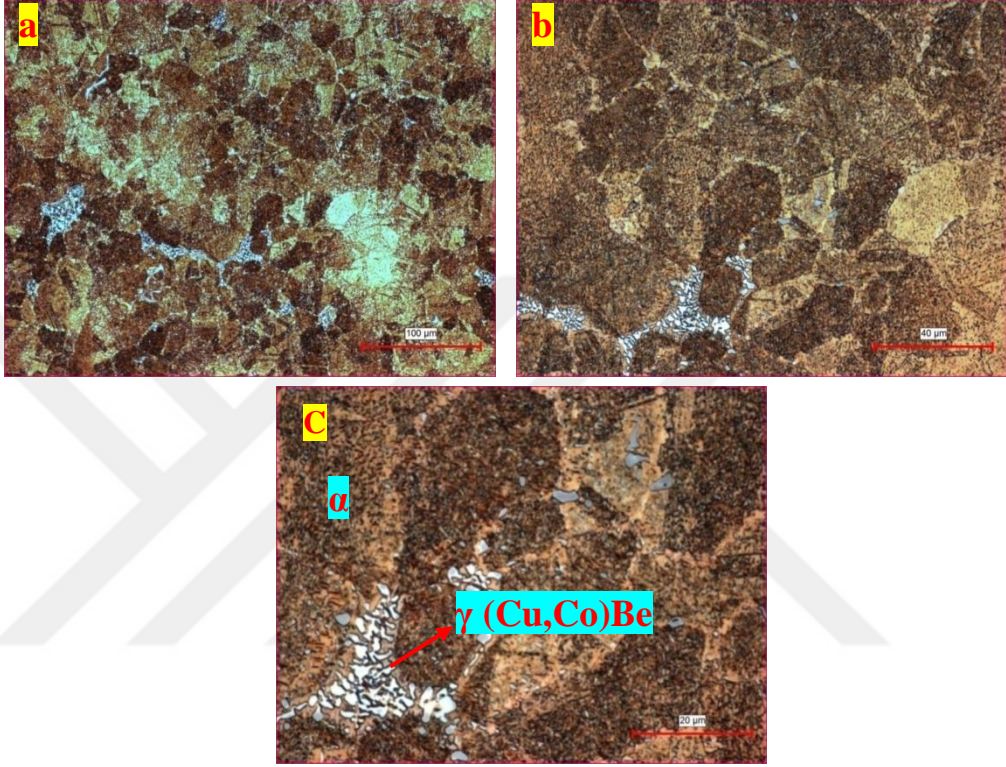
Şekil 6.2.1.8. 675 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.



Şekil 6.2.1.9. 700 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.

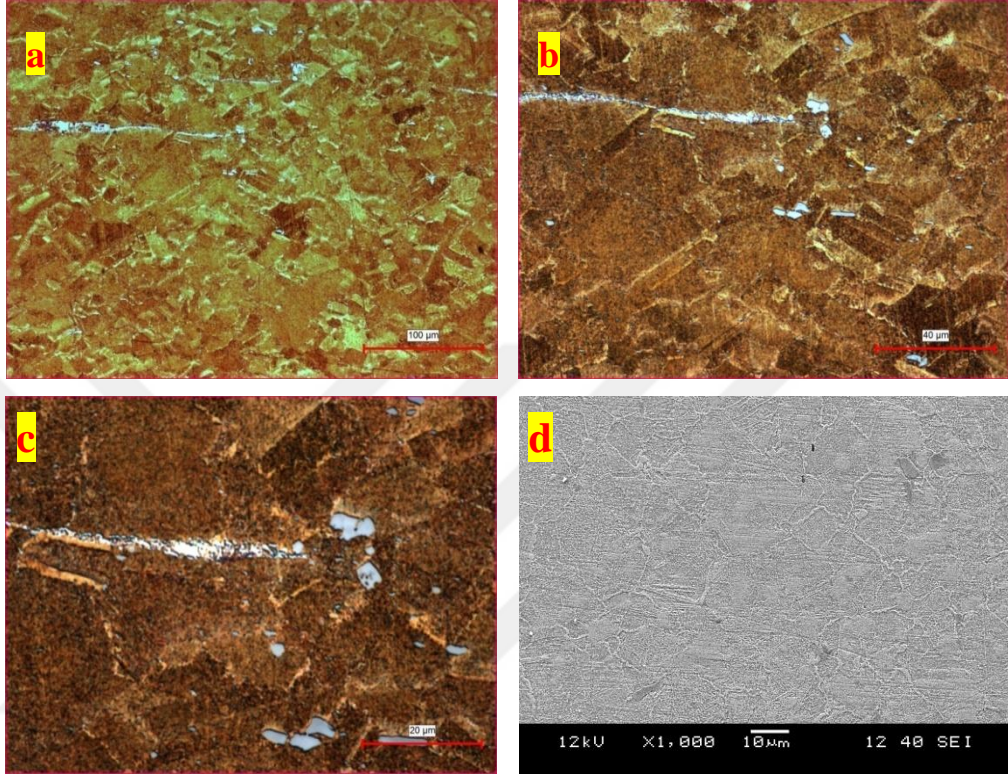
6.2.2. Berilyum Bronzunun Mikroyapı İncelemeleri

%2 Be elementi içeren Cu-Be alaşımının döküm+dövme (yuvarlak şekillendirme) sonrası hammadde mikroyapı görüntüleri Şekil 6.2.2.1. resimlenmiştir. Mikroyapı da α matris içerisinde özellikle tane sınırlarında cobalt-berilyum alaşımlarının oluşturduğu γ (Cu,Co)Be fazı görülmektedir.



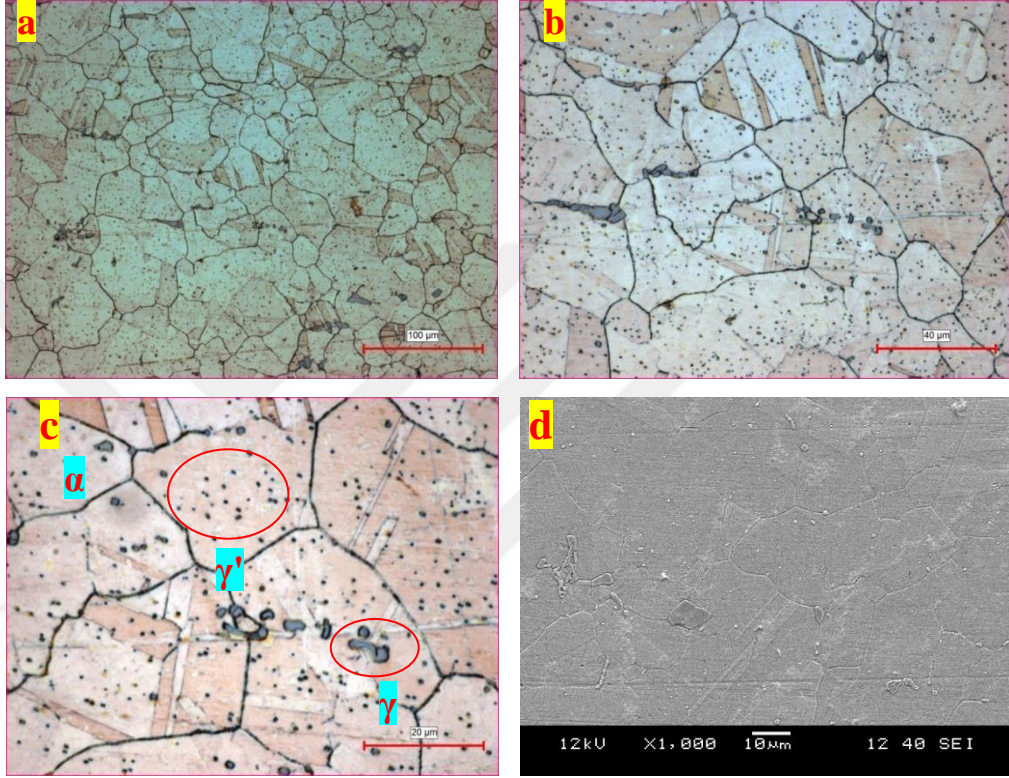
Şekil 6.2.2.1. Hammadde CubroB2 (Cu-Be) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı görüntüleri.

%2 Be elementi içeren Cu-Be alaşımının 720 °C de 1 saat ısıtılıp kapalı kalıpta yıldız çakma anahtar formuna şekillendirilmesi sonrası mikroyapı ve SEM görüntüleri Şekil 6.2.2.2. de resimlenmiştir. Dövme sonrası tanelerin incelmesi ve ikinci fazın dövme yönü boyunca uzadığı görülmektedir.



Şekil 6.2.2.2. 720 °C de dövülmüş CuBe2 (Cu-Be) a)200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.

%2 Be elementi içeren Cu-Be alaşıımının 800 °Cde 1 saat bekletilerek çözeltiliye 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 6.2.2.3. da resimlenmiştir. Çökelme sertleştirmesi sonrasında Cobalt beryllide (γ') çökeltilerinin α fazı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Tane sınırlarında az da olsa γ fazına da rastlanmıştır. Tane boyutunun da artış görülmüştür.



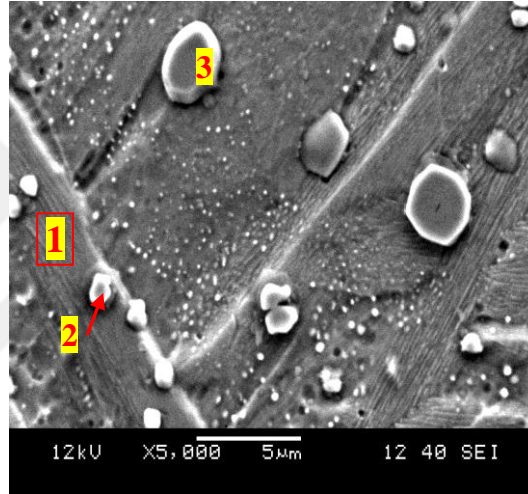
Şekil 6.2.2.3. 800 °C de 1 saat bekletilerek çözeltiliye alma işlemi yapıp hızlı soğutulan ve 250 °C de 3 saat, 305 °C de 3 saat suni yaşlandırma ısıl işlemi yapılan CubroB2 (Cu-Be) malzemesinin a) 200x, b)500x, c)1000x büyütme mikroyapı, d) 1000x büyütme SEM görüntüleri.

6.3.EDS Analizi İncelemeleri

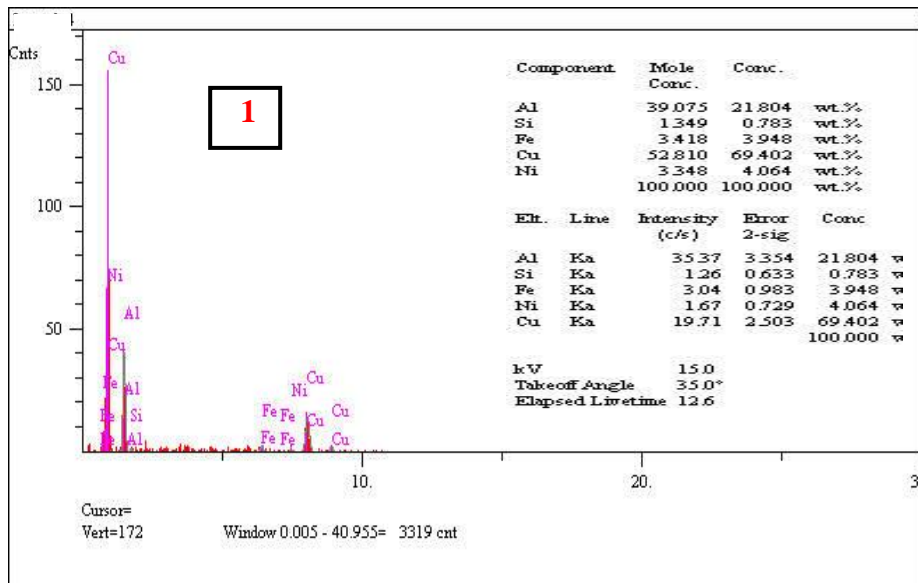
Elementlerin yapı içerisindeki yoğunluk dağılımını belirlemek için, 9 Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Joel marka SEM cihazı kullanılmıştır.

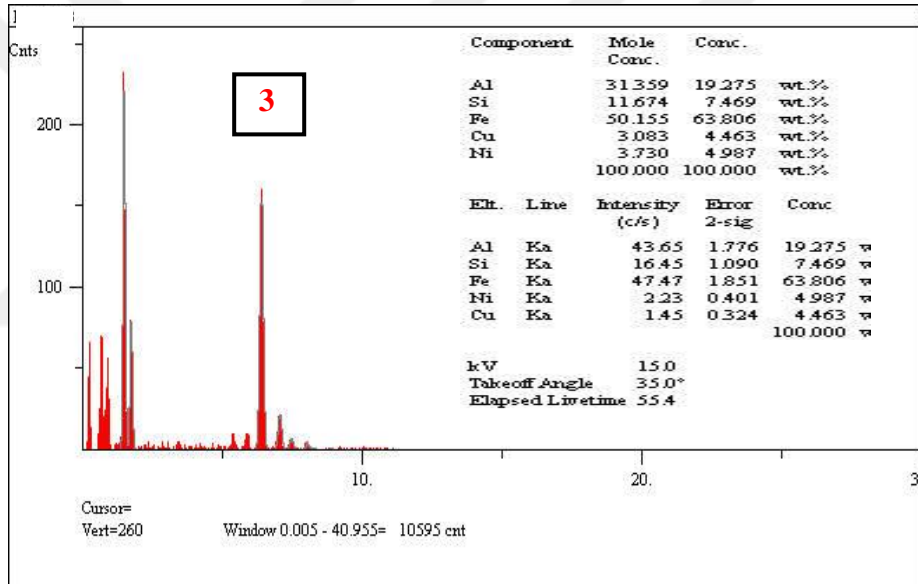
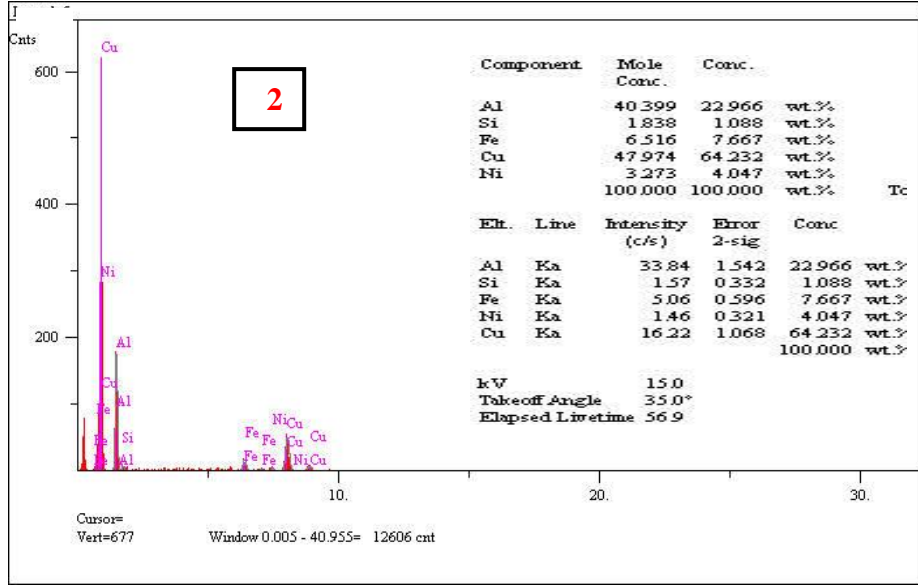
6.3.1. Alüminyum Bronzlarının SEM Mikroyapı ve EDS Analizi İncelemeler

EDS analizi için belirlemiş olduğumuz bölgelerin 5000x büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 6.3.1.1., Şekil 6.3.1.3., Şekil 6.3.1.5., Şekil 6.3.1.7., Şekil 6.3.1.9. da ve EDS analizi sonuçları Şekil 6.3.1.2., Şekil 6.3.1.4., Şekil 6.3.1.6., Şekil 6.3.1.8., Şekil 6.3.1.10. da verilmiştir.

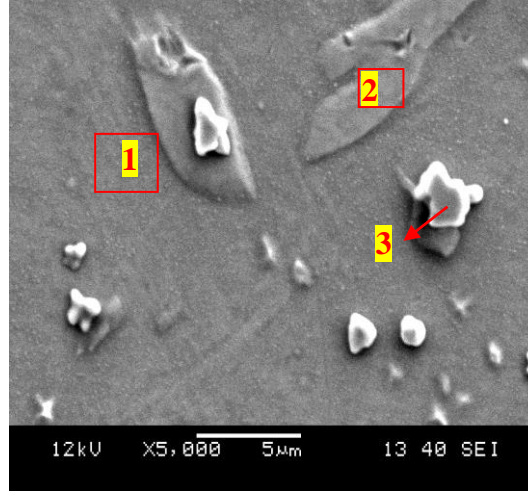


Şekil 6.3.1.1. Dövme sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.

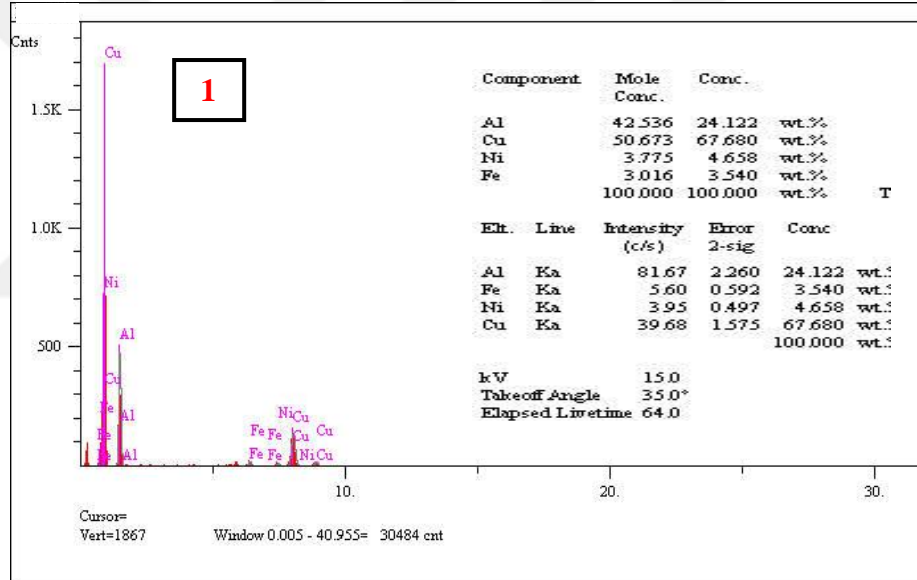


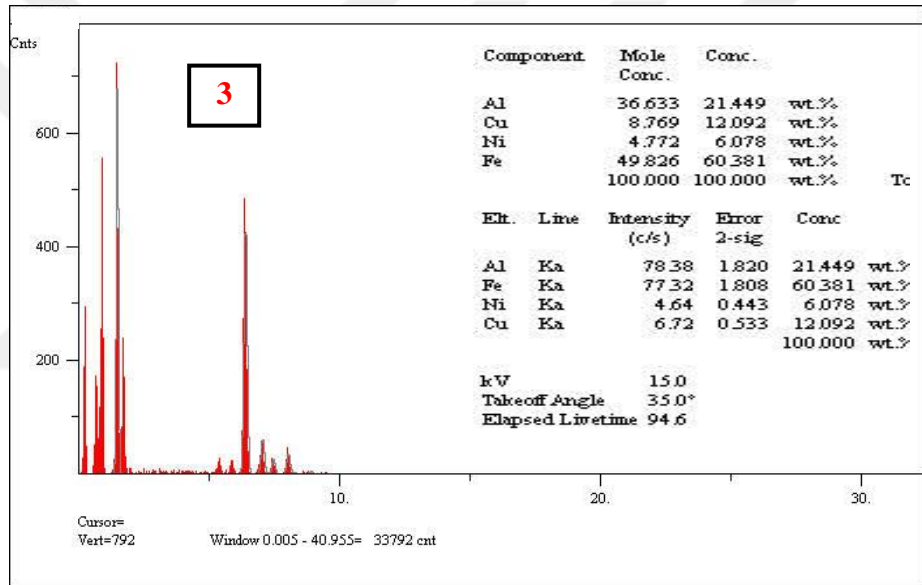
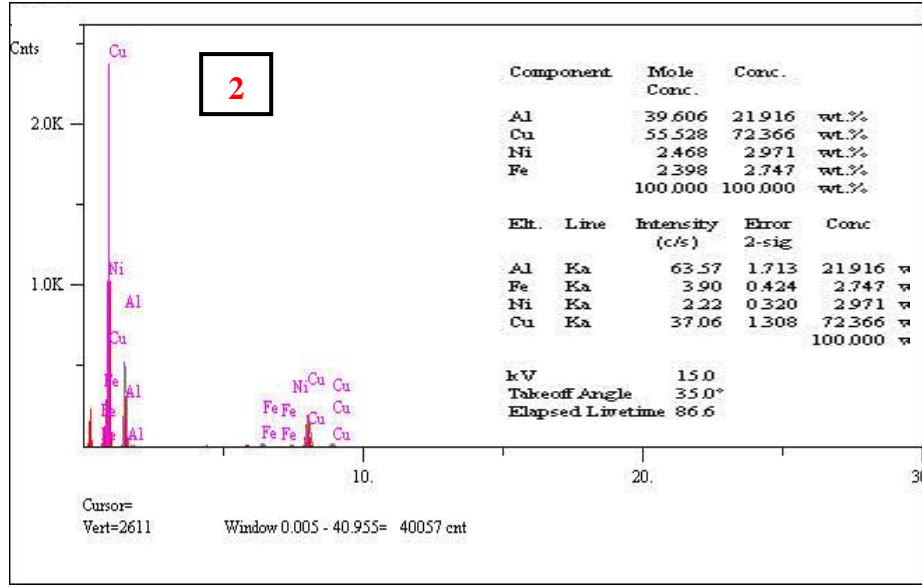


Şekil 6.3.1.2. Dövme sonrası Cubral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.

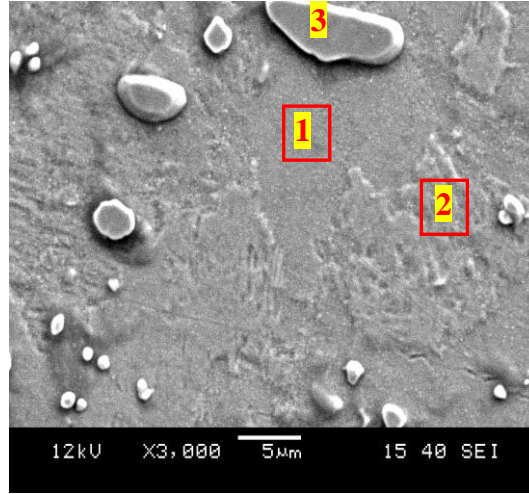


Şekil 6.3.1.3. 860 °C de sertleştirme sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.

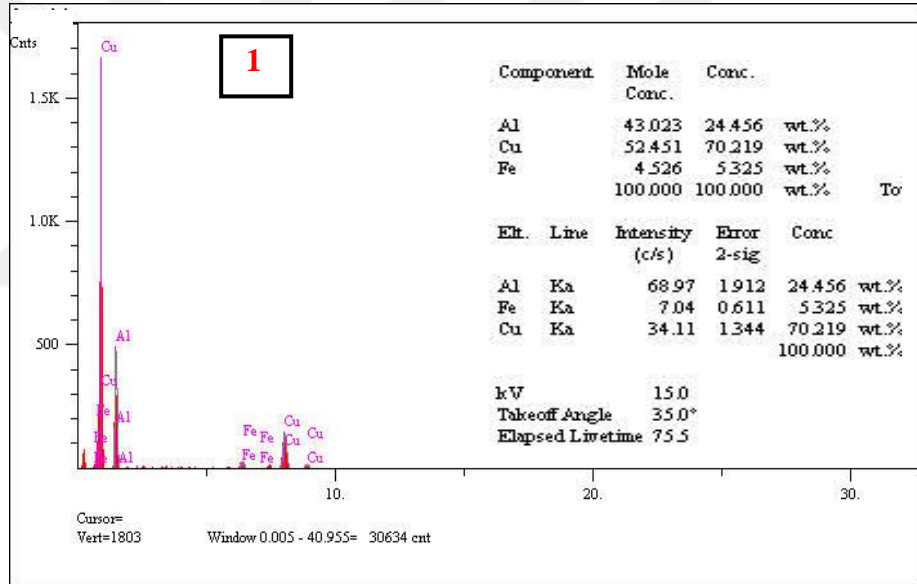


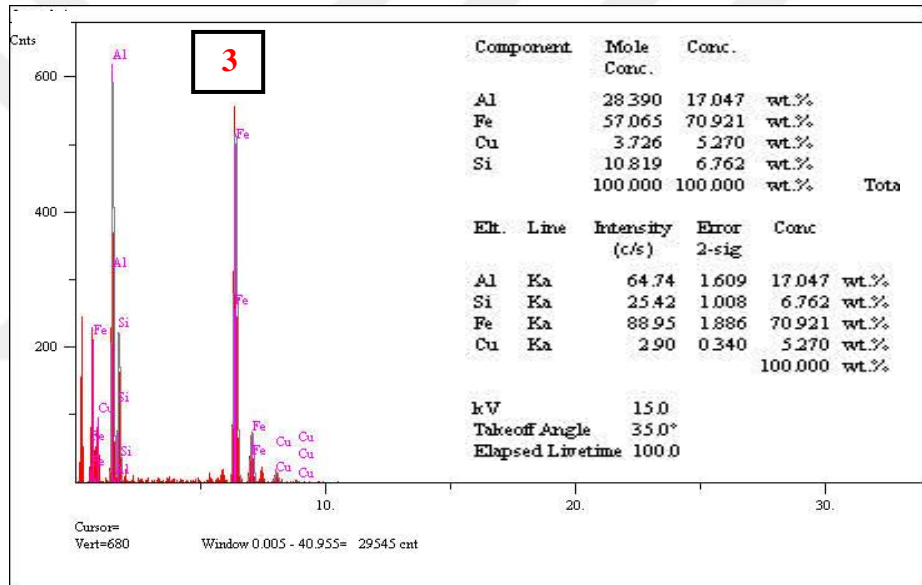
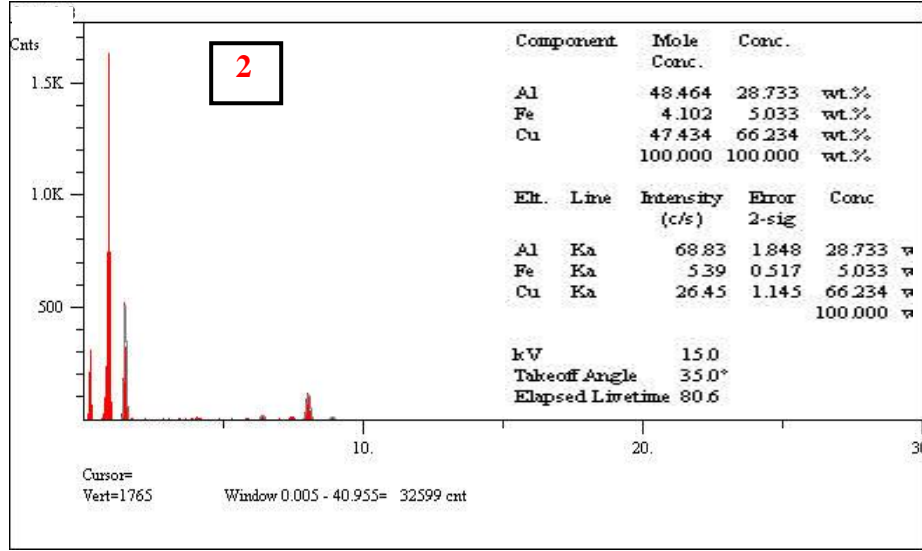


Şekil 6.3.1.4. 860 °C de sertleştirme sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.

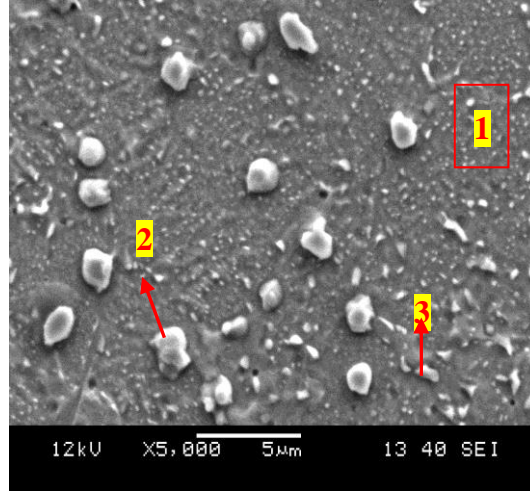


Şekil 6.3.1.5. 515 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.

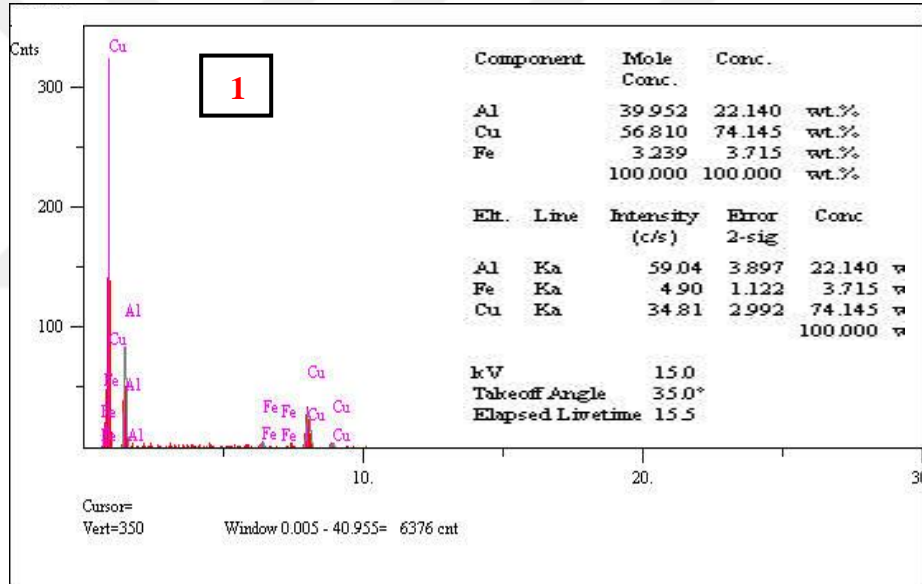


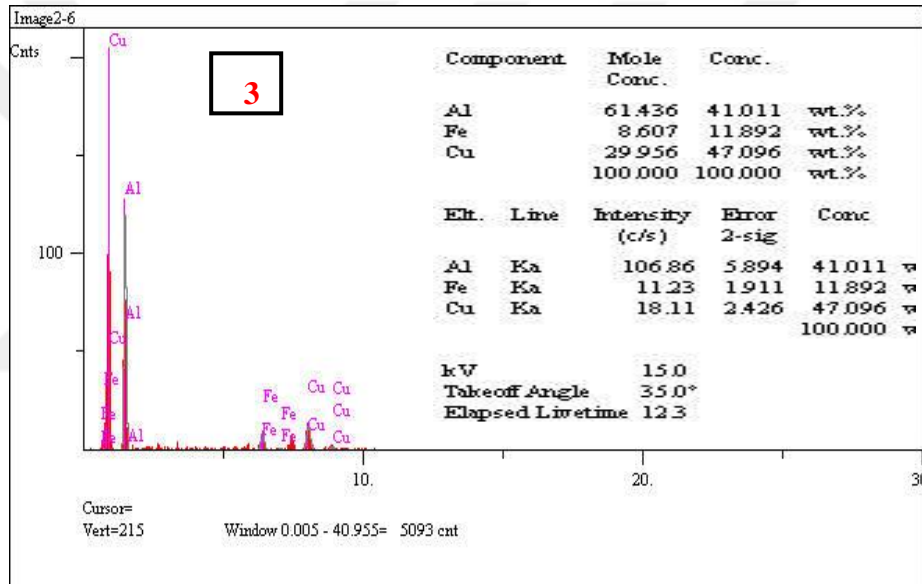
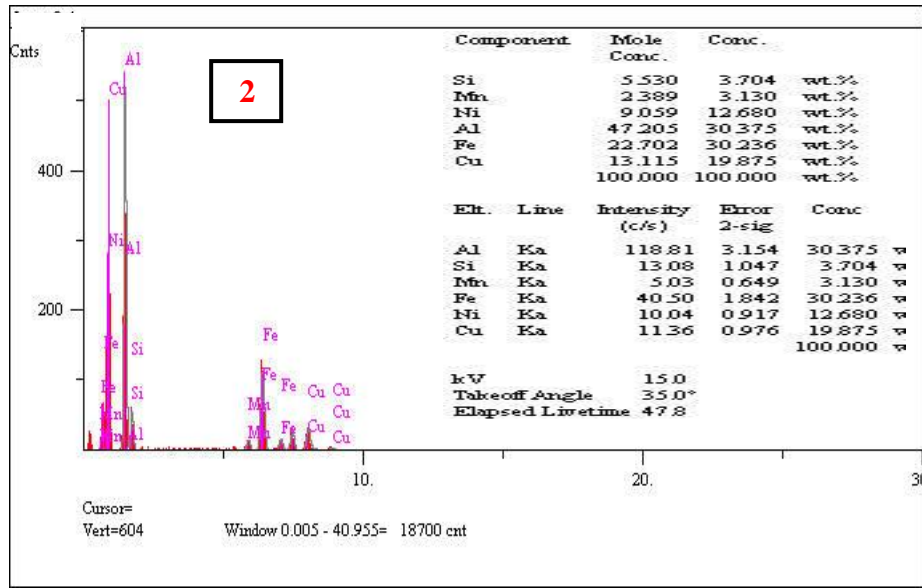


Şekil 6.3.1.6. 515 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.

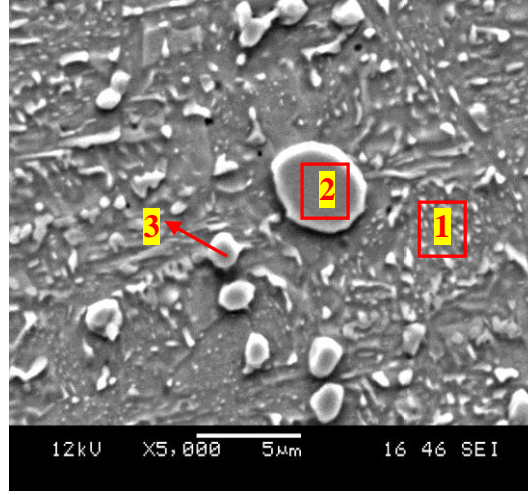


Şekil 6.3.1.7. 650 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.

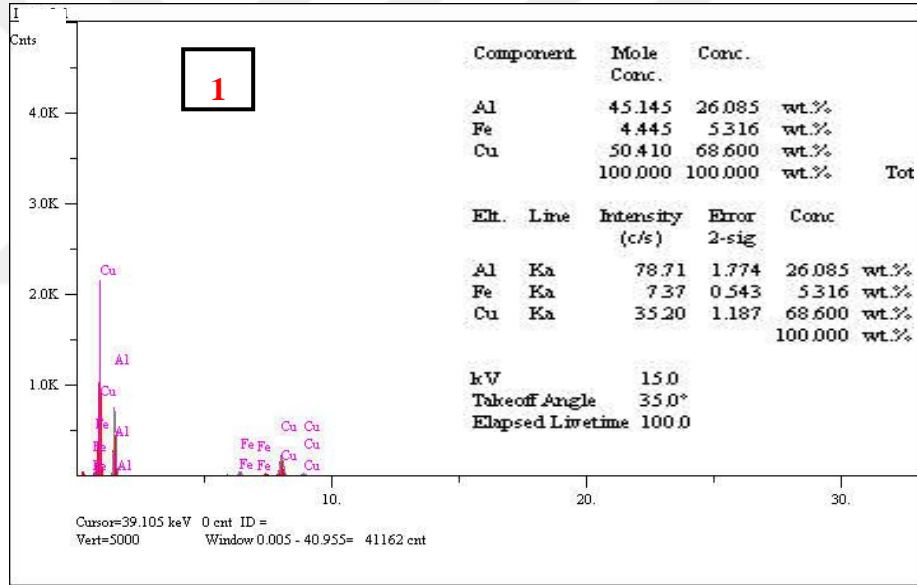


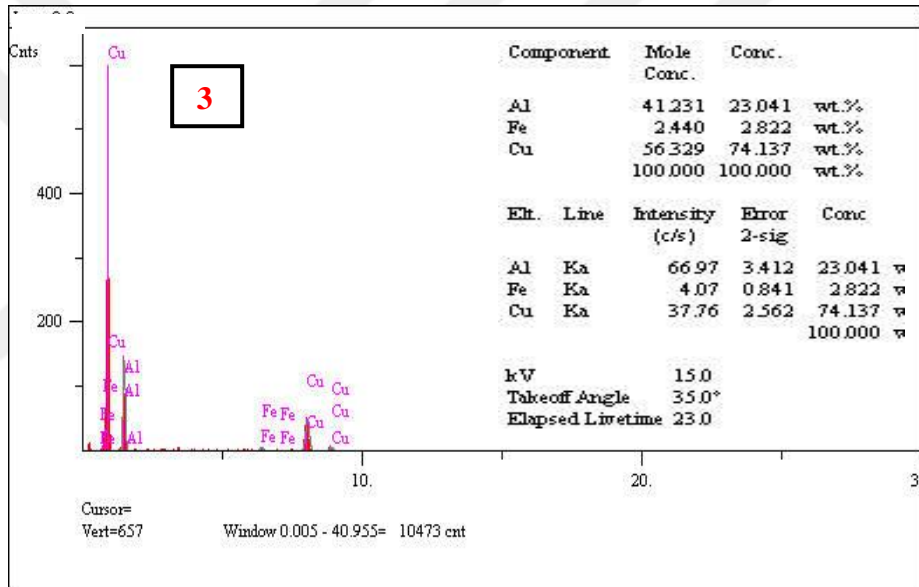
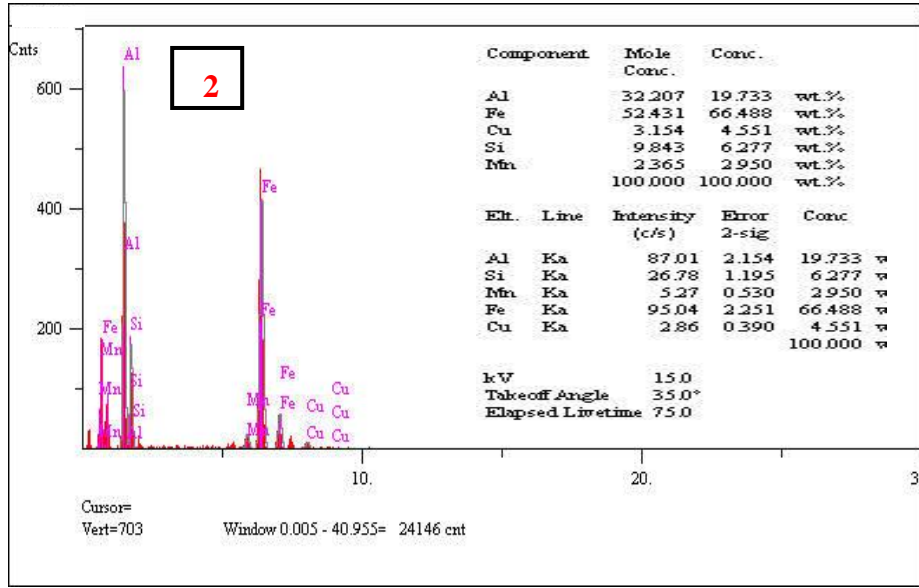


Şekil 6.3.1.8. 650 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3, numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.



Şekil 6.3.1.9. 675 °C de meneviş sonrası Cubral 4M(Cu-Al)'in EDS analizi için seçilen bölgeleri.

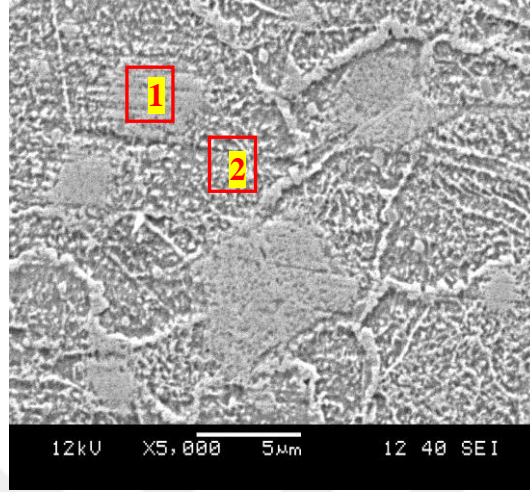




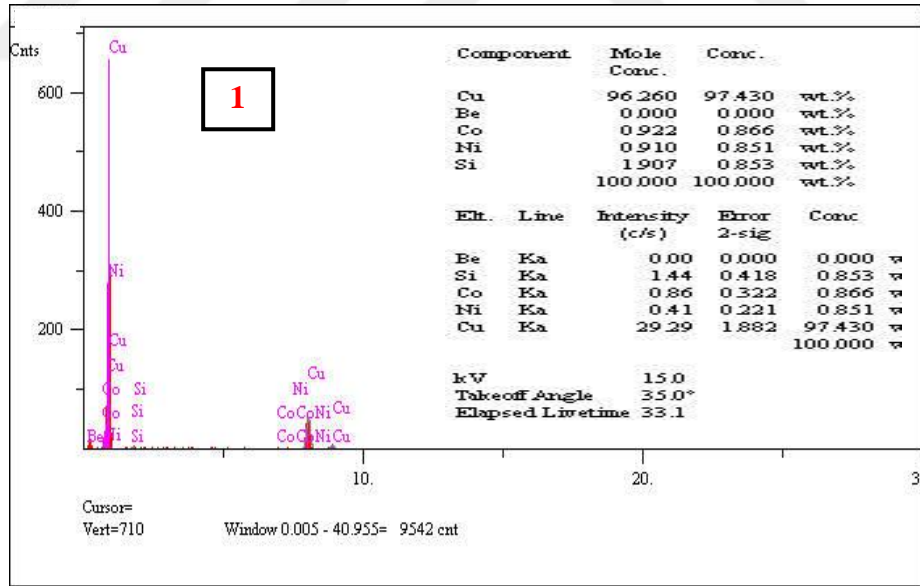
Şekil 6.3.1.10. 675 °C de meneviş sonrası Cupral 4M(Cu-Al) 1, 2, 3, numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.

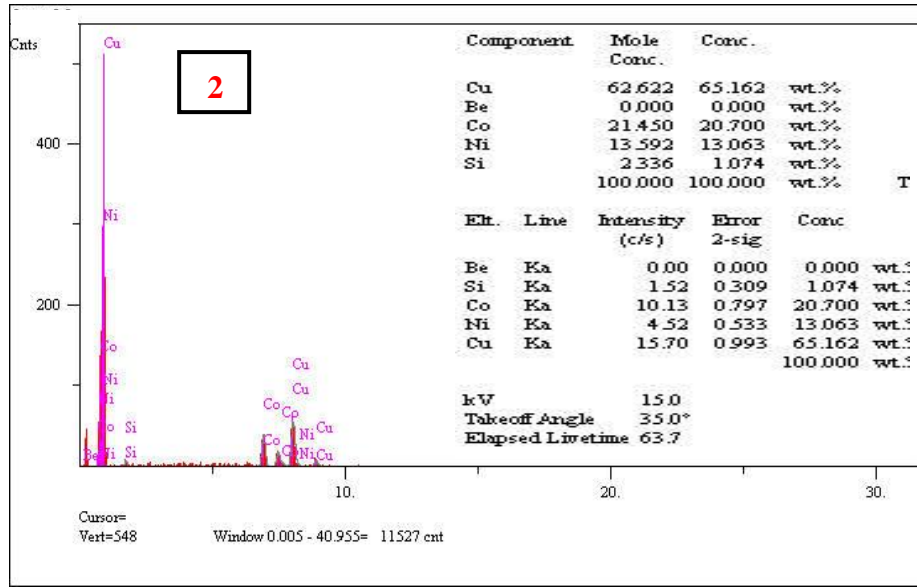
6.3.2. Berilyum Bronzlarının SEM ve EDS Analizi İncelemeleri

EDS analizi için belirlemiş olduğumuz bölgelerin 5000x büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 6.3.2.1., Şekil 6.3.2.3. de ve EDS analizi sonuçları Şekil 6.3.1.2., Şekil 6.3.1.4. de verilmiştir.

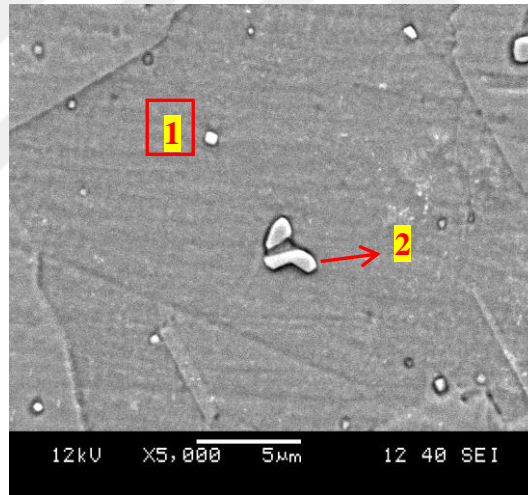


Şekil 6.3.2.1. 720 °C de dövme sonrası CubroB2(Cu-Be)'nin EDS analizi için seçilen bölgeleri.

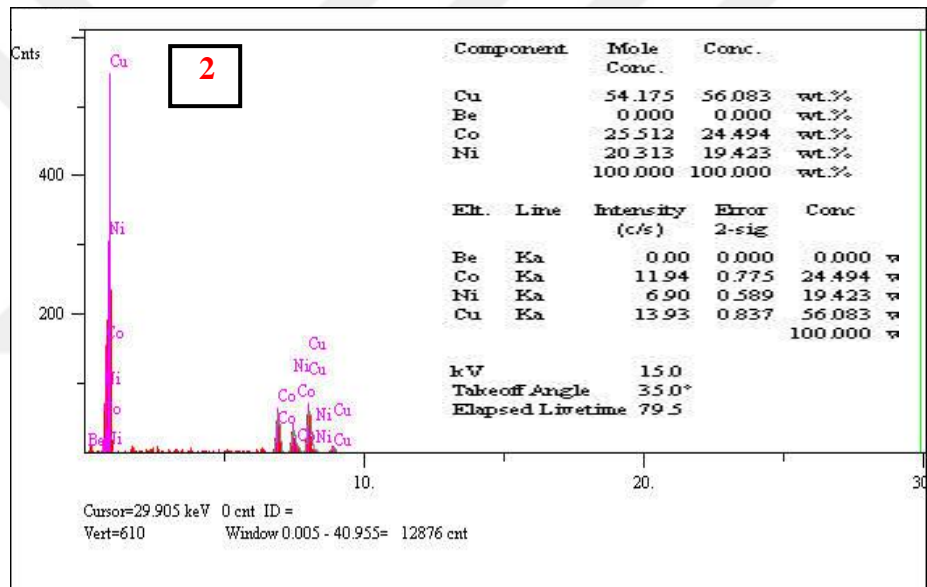
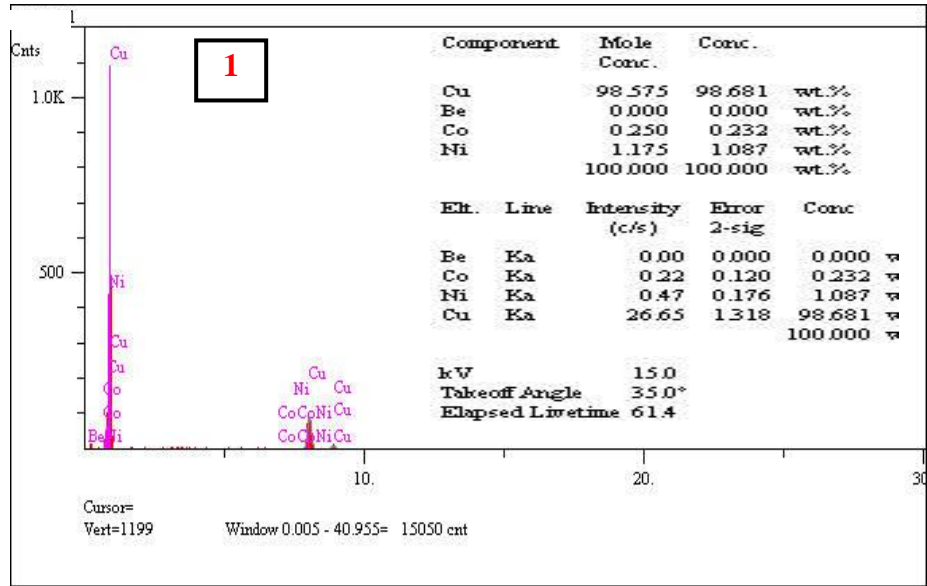




Şekil 6.3.2.2. 720 °C de dövme sonrası CubroB2(Cu-Be) 1 ve 2 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.



Şekil 6.3.2.3. 800 °C de çözeltiye 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) 'nin EDS analizi için seçilen bölgeleri.



Şekil 6.3.2.4. 800 °C de çözeltiye 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) 1 ve 2 numaralı bölgelerden EDS analizi sonuçları.

6.5. Çekme ve Çentik Darbe Testi Sonuçları

Isıl işlemleri yapılan numunelerin çekme ve çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.5.1. de verilmektedir.


Tablo 6.5.1. Isıl işlem sonrası sertlik değerleri.

Malzeme	Meneviş Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HB)	Akma (N/mm ²)	Max. Çekme (N/mm ²)	% 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)	250-305	317-345	750	1027	10	55

Tablo 6.5.1. incelendiğinde;

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, 238-247HB sertlik, 270 N/mm² akma mukavemeti, 716 N/mm² maksimum 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.

6.6. Kıvılcım Testi Sonuçları

IEP  ORG	IEP Enerji Petrol Enstitüsü MUAYENE VE DENEY RAPORU	Rapor No : IEP.Rp.Ex.10-952 Rapor Tarihi : 25/ 05 / 2016
---	---	---

TEST RAPORU


Deney Laboratuvarı / Laboratuvarları (varsa) IEP	Adresi / Adresleri Türkiye
İşaret plakası ve ürün detayları :	
Cu-Be-1 kodlu anahtar	Cu-Al- 2 kodlu anahtar
	

Şekil 6.6.1. Kıvılcım testi numuneleri.

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;

a. 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. Şekil 6.6.2. de ifade edilen sonuçlara ait rapor EkA dır.

b. 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 (Ek-A).

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	Ek A : 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 karışımın olan zımpara taşı - 1 ve 2 kodlu anahtar)	-Devir sayısı (1450- 2900) d/dk. -Darbeli sistem için (900-1450) d/dk Çelik ve normal zımpara taşı ile 10 dk süre ile yapılan testlerde herhangi bir kıvılcımlanma olmadığı görülmüştür.
---	---	--

DEĞERLENDİRMELER :

İZELTAŞ İzmir EI 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
Elekt. Müh.

Tufan Erdoğan
Mak. Müh.

IEP Onay (İsminin Üstüne İmza)



Şekil 6.6.2. Kıvılcım testi sonucu.

6.7. Ansys Analizi Sonuçları

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.

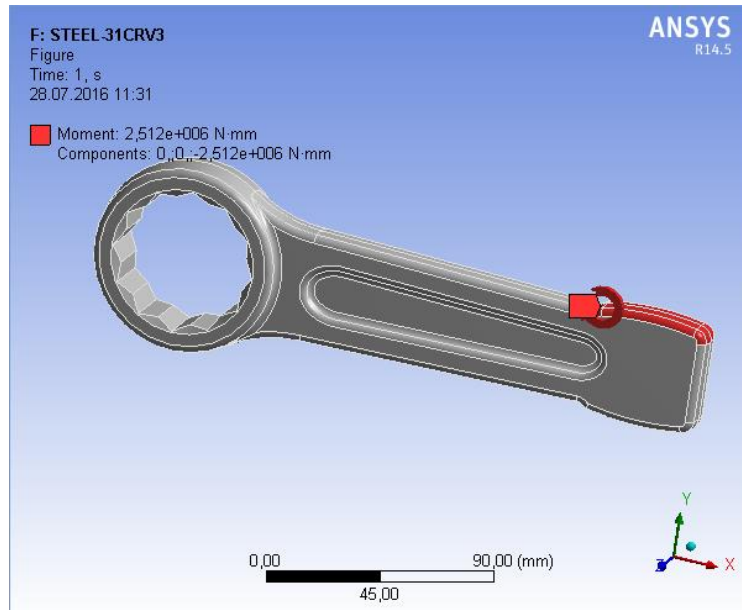
Ansys sonlu elemanlar yönteminde ilk olarak 50mm yıldız çakma anahtarın cimatron programında 3 boyutlu modellemesi yapıp ansys programına aktarılmıştır. Element kalitesi ortalama 0,84 olarak alınmıştır. Uygulanan maksimum yük, TS ISO 1711-1'e göre 2,512 N.m(MPa) dır.

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.

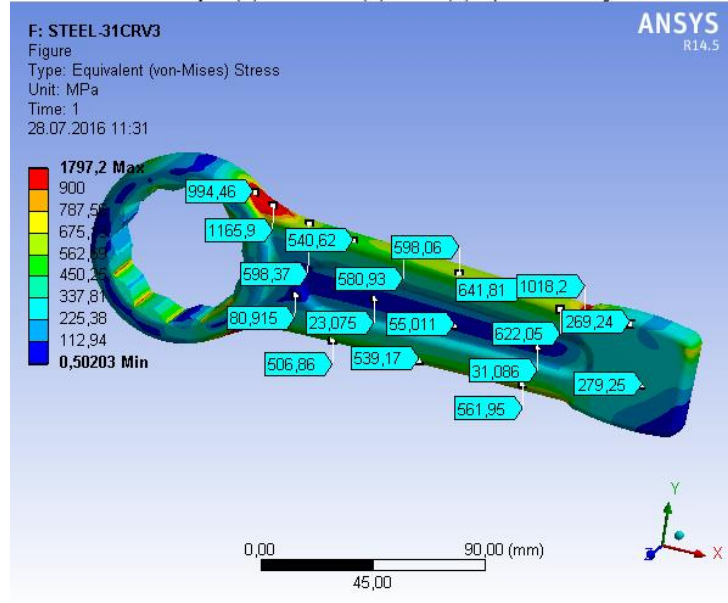
Tablo 6.7.1. Çekme testi sonuçları.

Malzeme	Akma(MPa)	Maximum Çekme (MPa)
Çelik(31CrV3)	900,4	1014,2
Cu-Be (CubroB2)	750	1027
Cu-Al (Cubrol 4M)	270	716

6.7.1. Çelik Malzeme (31CrV3) Sonuçları

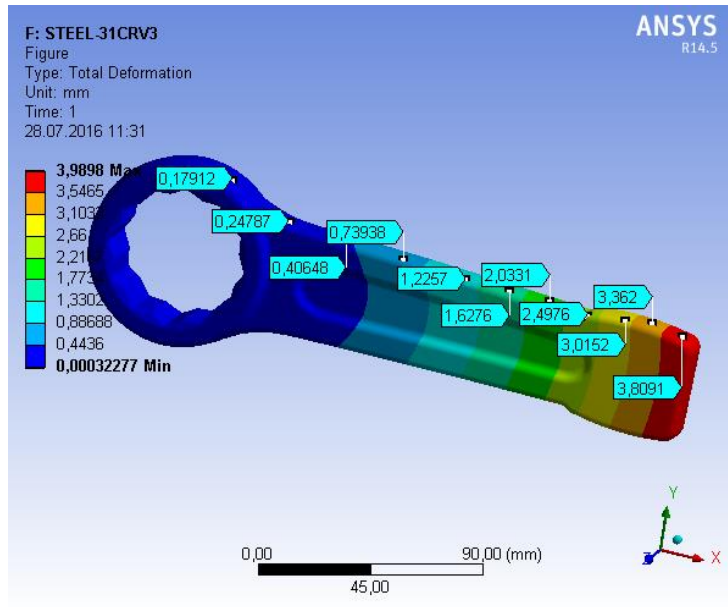


Şekil 6.7.1.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.

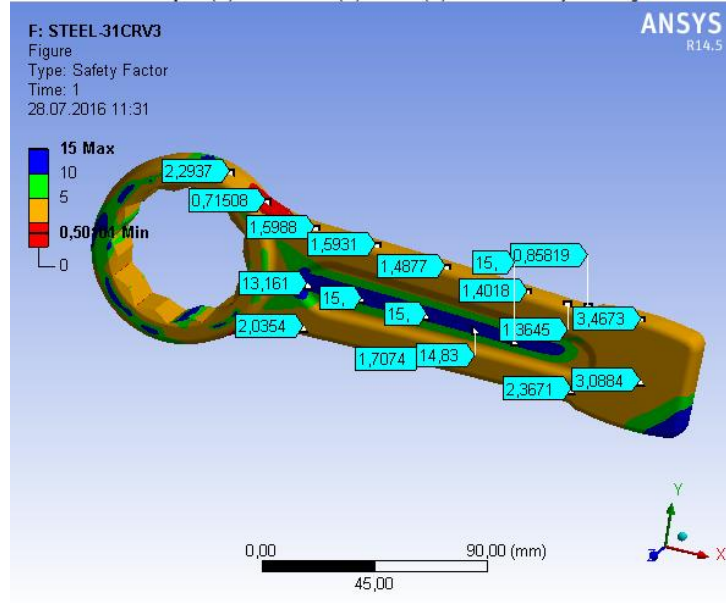


Şekil 6.7.1.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.

Çelik malzemeden üretilen yıldız çakma anahtara uygulanan 2,512 N.m lik kuvvetin, parça üzerindeki gerilim dağılımında, gerilimin en yüksek olduğu bölgeler 1797,2 N.m ile kırmızı renkli kısımlardır.



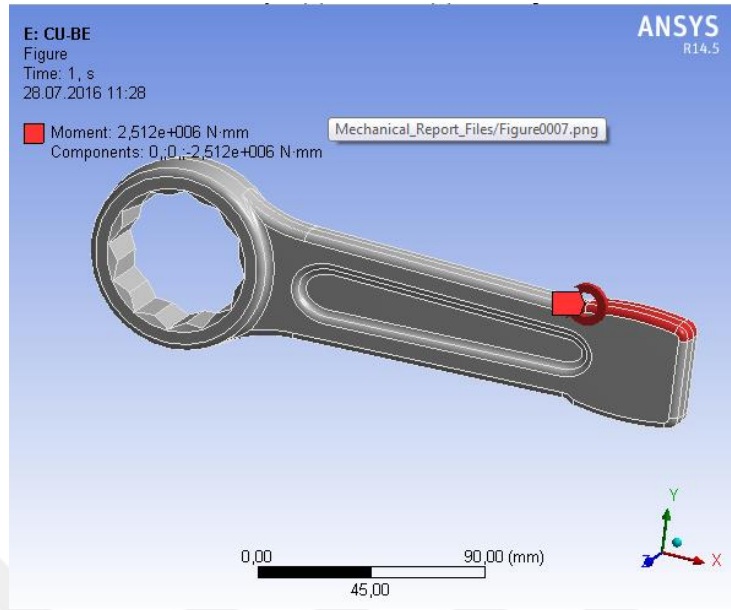
Şekil 6.7.1.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.



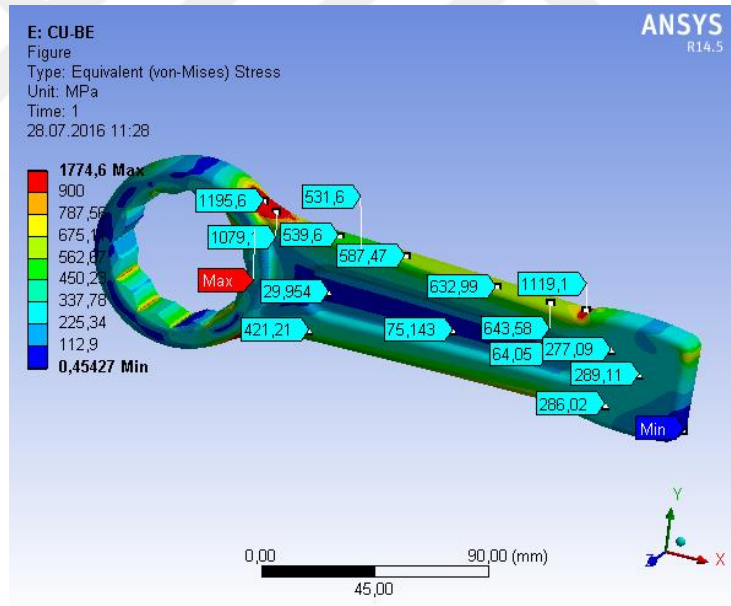
Şekil 6.7.1.4. Çelik malzemenin (31CrV3) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.

Çelik malzemenin minimum güvenlik faktörü 0,50 olarak hesaplanmıştır.

6.7.2. Cu-Be Malzeme Sonuçları

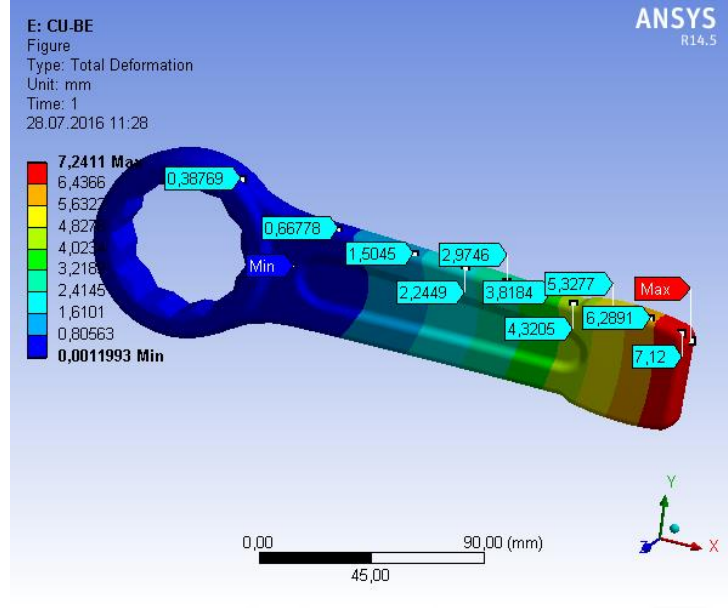


Şekil 6.7.2.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.

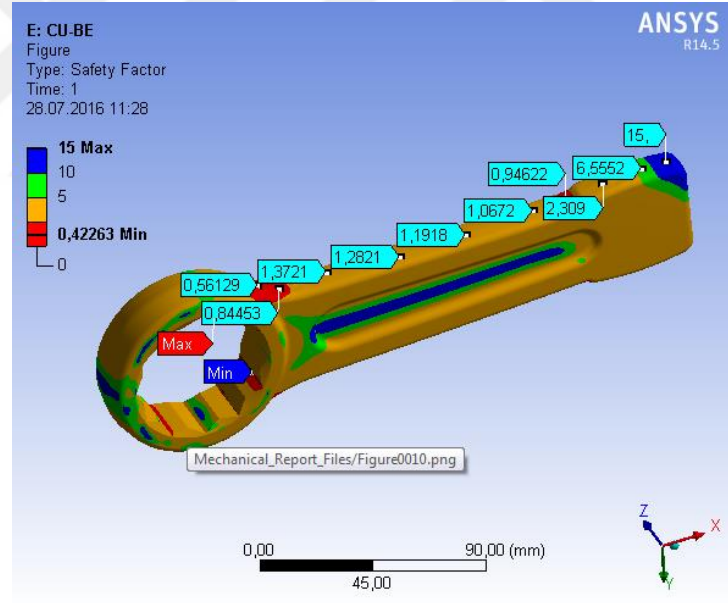


Şekil 6.7.2.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.

Cu-Be malzeme den üretilen yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilim dağılımında, gerilimin en yüksek olduğu bölgeler 1774,6 N.m ile kırmızı renkli kısımlardır.



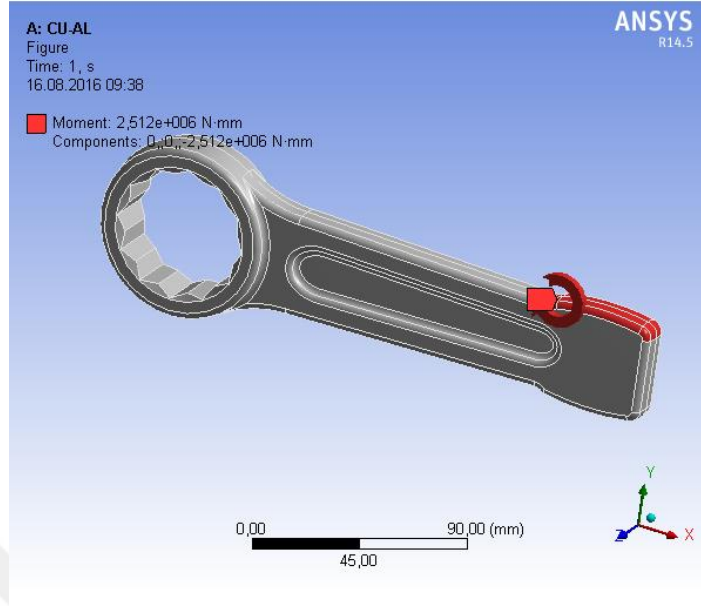
Şekil 6.7.2.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.



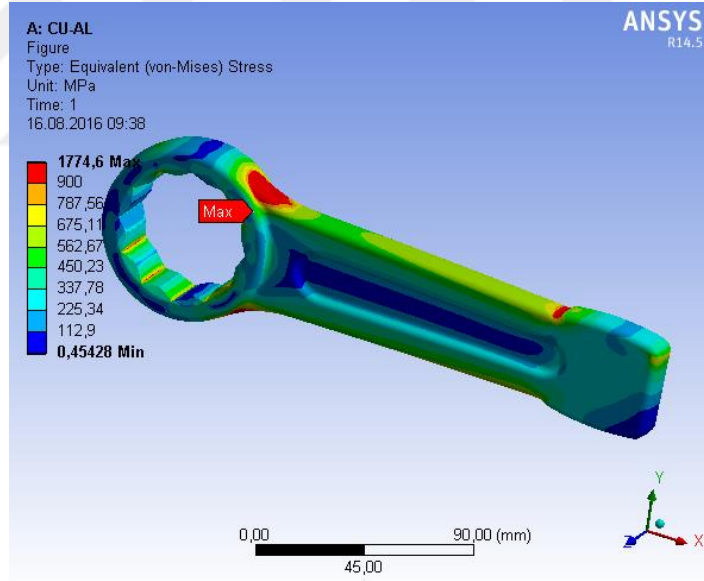
Şekil 6.7.2.4. Cu-Be (CubroB2) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.

Cu-Be malzemenin minimum güvenlik faktörü 0,42 olarak hesaplanmıştır.

6.7.3. Cu-Al Malzeme Sonuçları

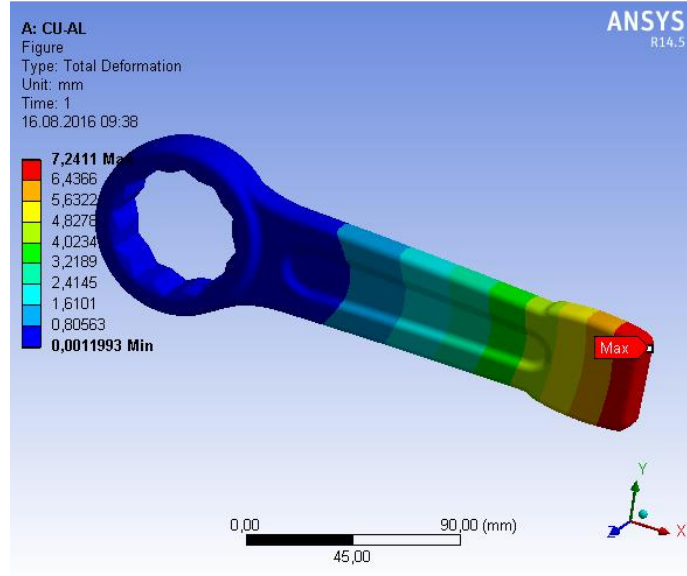


Şekil 6.7.3.1. Ansys programında yükün uygulandığı kısım.

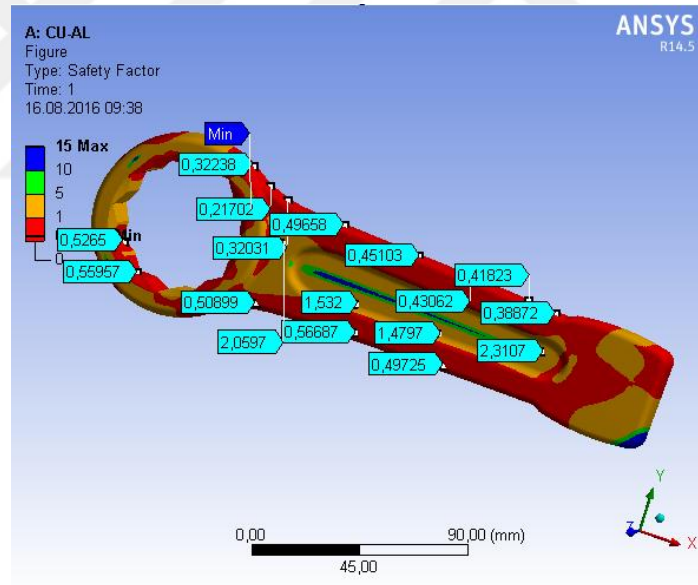


Şekil 6.7.3.2. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilimler.

Cu-Al malzeme den üretilen yıldız çakma anahtar üzerindeki gerilim dağılımında, gerilimin en yüksek olduğu bölgeler 1774,6 N.m ile kırmızı renkli kısımlardır.



Şekil 6.7.3.3. Uygulanan yüke bağlı olarak yıldız çakma anahtar üzerindeki toplam deformasyon dağılımı.



Şekil 6.7.3.4. Cu-Al (Cubral 4M) maksimum çekme ve akma mukavemetine bağlı hesaplanan güvenlik faktörü dağılımı.

Cu-Al malzemenin minimum güvenlik faktörü 0,15 olarak hesaplanmıştır.

7. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

Petrol rafineleri, petrokimya tesisleri, doğal gaz enerji santralleri, plastik hammadde üretim tesisleri, solvent ve akaryakıt depolama ve dolun tesisleri, benzin istasyonları, kömür madenleri vb. işletmelerde yanıcı-parlayıcı, patlayıcı, hidrokarbon gazları, solvent buharları ve saf sıvı haldeki ürünler gerek üretim gerekse üretimle alakalı arızaların giderilmesi esnasında çok özel iş güvenlik tedbirlerinin alınmasını ve bu tedbirler dâhilinde özel el aletleri takım ve teçhizatların kullanılmasını gerektirmektedir. Patlayıcı, parlayıcı ve kolay yanıcı maddelerin işlendiği, depolandığı ve taşındığı yerlerde yapılması gereken ani mekanik operasyon ve müdahalelerde patlama, infilak ve yangınlara karşı emniyetle, mal, can ve iş kayıplarını önlemek amacıyla kıvılcım çıkarmaz patlamaya karşı korumalı malzemeler kullanılır.

Kıvılcım çıkarmayan malzemelerden biride bakır-berilyum alaşımıdır. Metalik berilyum insanlığın bildiği en zehirli maddelerden bir tanesidir. Keza berilyum bileşikleri de gerek canlılar gerekse ekosistem için tehlikeli ve zehirli etkileri olan kimyasallardır. Berilyumun canlılarda yarattığı en büyük tahribat “Beril Hastalığı” olarak tabir edilen akciğer hastalığıdır.

Berilyum ile çalışan endüstri kollarının olduğu bölgelerde ve buralarda çalışan kişilerin solunum ile alacakları miktar $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini ve ayrıca 30 dakikalık süre için bile $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşmamalıdır. Berilyum ve bileşikleri bu kadar tehlikeli olmalarına rağmen vücuttan atılmaları kolaydır. Ancak bu ifade yukarıda verilen sınır değerler aşılmadığı sürece geçerlidir.

Bakır berilyum alaşımları çok düşük oranlarda berilyum içerirler (%0,5-2,0). Katı durumda berilyum buharı çıkarmazlar. Bakır berilyum alaşımları işlendikten sonra tehlikeli atık oluşturmazlar. Bu yüzde değerlerinde el aleti üretimi esnasında, önerilen iş güvenliği ekipmanları takılmalıdır. Özellikle talaşlı işlem sulu olarak yapılmalı, herhangi bir siklon tozu oluşturulmamalıdır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

➤ % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) malzemenin sıcak dövme sonrası mikroyapısının da α fazının dentritik bir yapıya dönüştüğü, γ_2 (Ni_3Al) yapısının varlığının daha az olduğu ve gri renkli Fe_3Al intermetalik çökeltileri görülmüştür (Şekil 6.2.1.2.).

➤ % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) malzemenin, 860 °C de 1 saat tutulup su da sertleştirilmesi sonrası, 317-336 HB sertlik değerlerine çıkabildiği görülmüştür (Tablo 6.1.1.). Sertlik artışı hızlı soğutma sonrası, mikroyapı da oluşan β' martenzit fazından kaynaklanmaktadır. β' martenzit fazı içerisinde yumuşak α tane yapısının ince uzun bir hal aldığı ve yapı içerisinde Fe_3Al intermetalik çökeltiler görülmektedir (Şekil 6.2.1.3.). Fe_3Al çökeltilerin tane büyümesini engellemesi, mukavemet artışına katkı sağlamıştır.

➤ % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) malzemenin yüksek sertlik değerlerinde, çentik darbe test sonuçlarının çok düşük ve malzemenin gevrek bir yapıya sahip olduğu da görülmektedir. Artan meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak sertlik, çekme, akma mukavemetlerinde düşüş, yüzde uzama ve toklukta artış olmuştur (Tablo 6.5.1). Mikroyapı içerisinde de artan sıcaklık ile β' martenzit fazından α -Cu (açık renkli)+ γ_2 (Ni_3Al) (koyu renkli) fazları oluşmuştur. 600 °C üstünde α -Cu fazının büyümesi tokluk ve yüzde uzamanın artmasını sağlamıştır. 675 °C ve 700 °C de benzer mikroyapılar görülmüştür. SEM görüntülerinde İntermetalik (Fe_3Al) çökeltilerin artan meneviş sıcaklıkları ile küçüldüğü gözlemlenmektedir (Şekil 6.2.1.8.).

➤ % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) malzemenin en optimum mekanik özellikleri, 238-247HB sertlik, 270 N/mm² akma mukaveti, 716 N/mm² maximum çekme mukavemeti, %17 uzama, 22 J çentik darbe direnci ile 650 °C de yapılan meneviş işlemi sonrasında bulunmuştur (Tablo 6.5.1).

➤ %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemenin sıcak dövme işlemi sonrası mikroyapısının da, tane yapısının incelendiği ve tane sınırlarındaki γ (Cu,Co)Be fazının α -Cu fazı içerisinde uzadığı görülmektedir (Şekil 6.2.2.2.).

➤ %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemenin, 800 °C de 1 saat bekletilerek çözeltiliye alma işlemi yapıp hızlı soğutulan ve 250 °C de 3 saat, 305 °C de 3 saat suni yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında da Cobalt beryllide (γ') çökeltilerinin α fazı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Tane sınırlarında az da olsa γ fazına da rastlanmıştır. Çökelen Cobalt beryllide (γ') fazı ile sertlik 317-345 HB değerlerine çıkmıştır. Tane yapısının dövme yapısına göre daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 6.2.2.3.).

➤ TS ISO 1711-1'e göre 31CrV3 çelik malzemedan yapılan Yıldız Çakma Anahtarın, istenilen 300-350 HB sertlik değerlerine ve testler sonucunda elde edilen maximum çekme mukavemeti, akma mukavemeti, çentik darbe direncine en yakın sonucu karşılayan malzeme, %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemesi olmuştur. % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) malzemesinin yüksek sertlikte, düşük tokluk değerlerine ve kırılmalı bir yapıya sahip olması, %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemesi gibi, çelik malzemenin sertlik, maximum çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve çentik darbe direnci değerlerine, paralel özellikler gösteremeyeceği anlaşılmıştır (Tablo 6.5.1).

➤ % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) ve %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemenin kıvılcım çıkarmazlık araştırması sonucunda, her iki malzemenin EN 13463-1 Potansiyel patlayıcı ortamlar için elektrikli olmayan donanımlar - Bölüm 1: Temel metot ve kurallar göre uygunluğu standart'ında belirtilen malzeme kriterlerine uygun olduğu görülmüştür (EkA).

➤ . % 10 Al içeren Cu-Al (Cubral 4M) ve %2 Be içeren Cu-Be (CubroB2) malzemedan 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 (EkA).

➤ Ansys analizi sonrasında; Yıldız Çakma Anahtarın geometrik şeklinden dolayı, anahtarın en zayıf kısımları radyuslu ve işlenen kısımlardır. Güvenlik faktörü sıralamasında ; 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.

Sonuç olarak;

Cu-Al ve Cu-Be malzemedan 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 malzemedan 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.

KAYNAKLAR

- [1]. KOÇAK, H. Bakır ve Bakır Alaşımları, Metalurji Yüksek Mühendisi, Bolokur Yayınları, İstanbul, 4. Baskı, 2013
- [2]. 'Copper and copper alloys', ASM Speciality Handbook, ASM International, Materials Park, Ohio, 2001.
- [3]. R. Zauter, D. V. Kudashov, 'Precipitation hardened high copper alloys for connector pins made of wire', 23rd International Conference on Electrical Contacts (ICEC), Proceedings, pp. 257-261,
- [4]. Li M. and Zinkle S.J. (2012) Physical and Mechanical Properties of Copper and CopperAlloys. In: Konings R.J.M., (ed.) Comprehensive Nuclear Materials, volume 4, pp. 667-690 Amsterdam: Elsevier.
- [5]. Z. Li, J. Shen, F. Cao, Q. Li, 'A high strength and high conductivity copper alloy prepared by spray forming', Journal of Materials Processing Technology, 137, 60-64, 2003.
- [6]. T. De-chang, H. Weng-sing, C. Siang-yong, K. Jin-sing, J. Cheng-xue, 'Microstructure and properties of Cu-0.6Cr alloy after vacuum continuous casting', Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 17, 1085-1088, 2007.
- [7]. B. N. Singh, D. J. Edwards, S. Tähtinen, 'Effect of heat treatments on precipitate microstructure and mechanical properties of CuCrZr alloy', RisØ-R-1436(EN), RisØ National Laboratory , Roskilde-Denmark, 2004.
- [8]. Principles of Materials Science and Engineering William F. Smith
- [9]. B. Galip, Malzeme, MEB Yayınları, Ankara, (1970)
- [10]. Pecheux, H., Encyclopedie Industrielle, Precis de Metallurgie, 4o Edition, 604-608, Fransa, (1931).
- [11]. Webster, P.D., Fundamentals of Foundry Technology, First Published, Portcullis Press Ltd, 272-275, Norwich, (1980).
- [12] Eruslu, N., Altmışoğlu, A., Taptık, Y., Alaşımlar Ders Notu, İ.T.Ü. Maslak, İstanbul, 130-137, (1990).
- [13]. Komaç O. Ş., Alaşımlandırma Ders Notu, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Eskişehir, 2003.
- [14]. Yılmaz F. Şen U. Alaşımların Yapı ve Özellikleri, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No:8, 92-95, Sakarya, (1996).
- [15]. Burhan O., Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, 1990.

- [16] Bolton, W., Engineering Materials Technology, Second Edition, 285-287, Oxford, U.S.A,(1993).
- [17] Materials Science and Engineering Series, Smith Structural materials and Properties of Engineering Alloys, Second Edition, 263-267, U.S.A.
- [18] ASM Metals hand book volume 14, Forming and forging, 9th Edition, Third printing, November 1993.
- [19] Raynor, G V. Equilibrium Diagram, Beryllium Copper. Inst. Metals Annotated Equilibrium Diagram No. 7, 1949.
- [20] Copper Development Association, Beryllium Copper CDA Publication No 54, 1962.
- [21] ASM Metals hand book volume 2, Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, 10th Edition, Second printing, 1992.
- [22] www.materion.com, Forging and extruding copper beryllium, AT0011/0311 ©2011 Materion Brush Inc.
- [23] www.materion.com, Heat treating copper beryllium parts, AT0015/0311©2011 Materion Brush Inc.
- [24] Altunpak,Y., "Wear behaviour of aged Cu-Be alloy under electrical sliding", Scientific Research and Essays, 5(19), 2997-3002, (2010).
- [25] Howard E. Boyer, Heat treating of nonferrous alloys, American Society for Metals 1984.
- [26] Yaylacı E., Malzemelerde çökeltme sertleştirilmesi, 4 Mart 2010.
- [27] ASM Specialty handbook,Copper and copper alloys, First printing, August 2001.
- [28] TS EN 13463-1, Potansiyel patlayıcı ortamlar için elektrikli olmayan donanımlar - bölüm 1: temel metot ve kurallar, Şubat 2007
- [29] http://www.armetr.com/upload/statik_elektrik_risk_yonetimi.pdf
- [30] <http://www.iep.com.tr/page/13/atex>
- [31] Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 26.12.2003 / 25328

EKLER

EK A. [IEP Enerji Petrol Enstitüsü MUAYENE VE DENEY RAPORU, Hafif metalleri içeren donanımlar (Kıvılcım testleri)]



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aykut EREN

Doğum Yeri ve Yılı : Aydın, 1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : aykut.eren@izeltas.com.tr

Eğitim Durumu

Lise : Söke Lisesi, 1998

Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2005

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2016

Mesleki Deneyim

İZELTAŞ A.Ş. 2006-..... (halen)