

134805

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CuCrZr ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ, DÖKÜLMESİ
VE ISIL İŞLEM PROBLEMLERİNİN GİDERİLMESİ**

134805.

Metalurji Mühendisi Pınar EŞİZ

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalında Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

Prof.Dr. Ahmet TOPUZ

Doc.Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. BAKIR- KROM- ZİRKONYUM ALAŞIMLARI	2
2.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Tarihçesi	2
2.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Gelişimi	4
2.3 Bakır- Krom-Zirkonyum Alaşımının Standartları ve Bileşimleri	5
2.4 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	5
2.5 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının İşlenebilirlik ve Lehimlenebilirlik Özellikleri	7
2.6 Bakır-Krom – Zirkonyum Alaşımının Korozyon Dirençleri	7
2.7 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Mikroyapıları.....	7
2.8 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımında Empüriteler ve Etkileri	11
3. BAKIR ALAŞIMLARINDA ERGİMİŞ HALDE BULUNAN GAZLAR	14
3.1 Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkileri .	16
3.2 Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Döküm Özellikleri Üzerine Etkileri.....	16
4. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARININ ERGİTME PRATİĞİ.....	18
4.1 Metal ve Alaşımında Ergitme Pratiği	18
4.2 Bakır-Krom –Zirkonyum Alaşımının Ergitme Pratiği	19
4.3 Sıvı Bakırda Krom Erirliğine Ergitme Koşullarının Etkisi.....	21
4.4 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımında Deoksidasyon	24
5. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ	33
5.1 Bakır Alaşımının Katılaşma Karakteristikleri	33
5.2 Katılaşma Mekanizmasının Alaşımın Yapısı Üzerindeki Etkileri	33
5.3 Katılaşma Mekanizmasının Büzüşme Ve Gözeneklilik Üzerindeki Etkileri.....	37
5.4 Donma Derecesinin Bakır Alaşımındaki Önemi	39

5.5	Besleyicinin Bakır Alaşımlarının Dökümündeki Önemi	41
5.6	Soğuk Kalıba Döküm	42
5.7	Tane İnceltmesi	42
5.8	Segregasyon	44
5.9	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökülmesi Ve Yapılan İşlemler	44
6.	BAKIR KROM ZİRKONYUM ALAŞIMLARINDA ÇÖKELME SERTLEŞMESİ	49
6.1	Bakır Krom Alaşımlarında Çökeltme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisinin İncelenmesi	49
6.2	Bakır Zirkonyum Alaşımlarında Çökeltme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisinin İncelenmesi	49
6.3	Bakır Krom Zirkonyum Alaşımlarında Çökelti Sertleşmesi ve Sonrasında Yapı Değişimleri	50
6.4	Soğuk Deformasyonun Çökeltme Sertleştirmesinde Bakır Krom Zirkonyum Alaşımına Etkileri	52
6.5	Zirkonyumun CuCrZr Alaşımlarında Çökeltme Sertleştirmesine Etkileri	53
6.6	Bakır Krom Zirkonyum Alaşımlarında Çökeltme Sertleşmesi Sonrası Fazların İncelenmesi	56
6.7	Bakır Krom Zirkonyumun Isıl İşlemi Sırasında Kullanılan Fırınlr	60
6.8	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Isıl İşlemlerinde ve Sonrasında Karşılaşılan Sorunlar ve Sebepleri	61
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	62
7.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökümü Esnasında Kullanılan Örtü Malzemesinin Seçimi	62
7.1.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökümü Esnasında Kullanılan Örtü Malzemesinin Seçimi Deneyinin Sonuçları	66
7.2	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Cr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri	67
7.2.1	Bu Çalışmada İstenilen Alaşımların Elde Edilebilmesi İçin Şarj Hesapları	67
7.2.2	(A), (B) ve (C) Numunelerinin Spektral Analiz Sonuçları	73
7.2.3	(A), (B) ve (C) Numunelerinin Brinell Sertlik Değerleri	74
7.2.4	(A), (B), ve (C) Numunelerinin Metalografik İncelemeleri	75
7.2.5	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Cr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları	77
7.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Zr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri	77
7.3.1	Bu Çalışmada İstenilen Alaşımların Elde Edilebilmesi İçin Şarj Hesapları	78
7.3.2	(C) ve (D) Numunelerinin Spektral Analiz Sonuçları	81
7.3.3	(C) ve (D) Numunelerinin Brinell Sertlik Değerleri	82
7.3.4	(C) ve (D) Numunelerinin Metalografik İncelemeleri	83
7.3.5	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Zr Oranının Değişiminin Değişik Sıcaklıklarda Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları	86
7.4	Bakır-Krom -Zirkonyum Alaşımlarının Isıl İşlem İle İlgili Deneysel Çalışmaları	86
7.4.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiliye Alma Sıcaklığının Mikro Yapıya, Sertliğe, Elektriksel İletkenliğe ve Mukavemete Etkisinin İncelenmesi Deneyi	89
7.4.1.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiliye Alma Sıcaklığının Mikro	

	Yapıya Etkisinin İncelenmesi	90
7.4.1.2	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklığının Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi	93
7.4.1.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi	94
7.4.2	Soğutma Suyu Sıcaklığının Mikro Yapıya, Sertliğe, Elektriksel İletkenliğe ve Mukavemete Etkisinin İncelenmesi Deneyi	96
7.4.2.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Mikro Yapıya Etkileri.....	97
7.4.2.2	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	100
7.4.2.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	101
7.4.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Mikroyapı, Tane Boyutu, Elektriksel İletkenlik ve Sertlik Değerlerine Etkisinin İncelenmesi Deneyi	102
7.4.3.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Mikroyapıya Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi	103
7.4.3.2	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi	106
7.4.3.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi ..	107
7.4.4	Yaşlandırma Süresinin Mikroyapı, Elektriksel İletkenlik ve Sertlik Değerlerine Etkisinin İncelenmesi Deneyi	109
7.4.4.1	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Mikroyapı, Üzerine Etkisinin İncelenmesi	110
7.4.4.2	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Sertlik Değerleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi	113
7.4.4.3	Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Elektriksel İletkenlik Değerleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	114
8.	GENEL SONUÇLAR	116
	KAYNAKLAR	118
	İnternet Kaynakları	119
	ÖZGEÇMİŞ	120

SİMGE LİSTESİ

A	Yüzey alanı
d	Döküm işlemi yapıldıktan ‘t’ kadar zaman geçtikten sonraki kabuk kalınlığı.
q	Katılaşma sabiti
1/q ²	13.7 inç/dakika ^{1/2}
V	Döküm parçasının hacmi



KISALTMA LİSTESİ

BS	British Standart
DIN	Deutsches Industriel Norme
ISO	International Standart Organisation
OFHC	Oxygen Free High Conductor Copper



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bakır-Krom-Zirkonyum alaşımlarının yorulma dayanımı (Hiroki Nagasawa).....	6
Şekil 2.2 Bakır-Krom ötektik alaşımında dentritik yapı (600x)	8
Şekil 2.3 Bakır-Krom ötektik alaşımında hekzagonal fiber yapısı.....	8
Şekil 2.4 Bakır-krom ötektik alaşımının dik kesidi (1000 x). 950°C’de çözeltiye alınmış, a)0 saat, b)64 saat, c)272 saat, d) 344 saat	9
Şekil 2.5 950°C’de 272 saat çözeltiye alınmış numunenin paralel kesiti. (1000 x).....	10
Şekil 2.6 900°C’de çözeltiye alınmış numune yüzeyinde fibersiz bir zon oluşumu (1000 x). (Marich S. 1980)	11
Şekil 2.7 Empürütelerin elektrik iletkenliğine etkileri (20°C’de)	12
Şekil 3.1 Ergimiş sıvı metalde değişik sıcaklıklarda oksijen ile hidrojen içeriği arasındaki ilişki (Murthy K.S.S. 1984).....	15
Şekil 4.1 Sıvı melalde hidrojen olup olmadığının tespitine yarayan deney numuneleri	20
Şekil 4.2 Ergitme koşullarına bağlı olarak kromun erime hızı. 1-CaF ₂ ve kurum örtülü, 2-% 0.05-0.1 O fosfor, 3-Kurum örtülü, 4-% 0.13 silisyum,5-% 0.19 alüminyum. (Golovveshko V.F., Sergeen L.N. 1982).....	24
Şekil 5.1 Saf bakırın katılaşmasında kolonsal tanelerin oluşumu.	34
Şekil 5.2 Bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü.....	34
Şekil 5.3 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştıran düşük alaşımlı bakırda katılaşmanın kademelenmiş görünümü.....	35
Şekil 5.4 Yüksek alaşımlı bakırın katılaşmasının görünümü.	36
Şekil 5.5 Yüksek alaşımlı bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü.	36
Şekil 5.6 Orta derecede alaşımlanmış bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü. (American Foundrymen’s Society)	37
Şekil 5.7 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştıran bakır alaşımlarının kalıp içerisinde katılaşması.	38
Şekil 5.8 Bakır alaşımlarında mikrogözeneklerin oluşumu.....	38
Şekil 5.9 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştıran bakır alaşımlarında büzüşme olayının görünümü. (American Foundrymen’s Society).....	39
Şekil 5.10 Yavaş soğutmayla katılaştırılmış bakır alaşımlarında büzüşme ve gözeneklerin oluşumu	40
Şekil 5.11 Levha şeklindeki döküm parçasının soğuk olmayan kalıpta katılaşması sonucu oluşturan tanelerin görünümü.....	40
Şekil 5.12 Levha şeklindeki döküm parçasının soğuk kalıpta katılaşması sonucu oluşan tanelerin görünümü (American Foundrymen’s Society).....	41
Şekil 5.13 İri taneli bakır alaşımının mikroyapısı.....	43
Şekil 5.14 İnce taneli bakır alaşımındaki gözenek tabakasının görünümü.....	43
Şekil 5.15 Tek giriş yolluğu.....	45
Şekil 5.16 Çok sayıda giriş yolluğu.	46
Şekil 5.17 Bakır krom denge diyagramı	47
Şekil 5.18 Bakır krom denge diyagramının büyütülmüş kesiti	47
Şekil 5.19 Bakır krom zirkonyum sistemine ait faz diyagramı	48
Şekil 6.1 CuCrZr alaşımının döküm sonrası yapı görüntüsü (Çardak G. 2000).....	52
Şekil 6.2 CuCrZr alaşımının soğuk şekillendirme sonrası yapı görüntüsü (Çardak G. 2000)	53
Şekil 6.3 Bakır krom denge diagramı	54
Şekil 6.4 CuCr faz diagramının büyütülmüş hali	54
Şekil 6.5 CuCrZr alaşımının faz diagramı	55
Şekil 6.6 CuCrZr alaşımının 940°C’de ki üçlü faz diagramı (Villars P 1993)	57
Şekil 6.7 Bakırca ve kromca zengin fazların SEM görüntüsü (Fuxiang H 2002)	58

Şekil 6.8 CuCrZr alaşımının SEM’de geri saçılma görüntüsü (Fuxiang H 2002).....	58
Şekil 6.9 Kromca zengin koyu renkteki fazların EDXS analizi (Fuxiang H 2002).....	59
Şekil 6.10 Zirkonyumca zengin açık renkli fazların EDXS analizi (Fuxiang H 2002)	59
Şekil 7.1 Kokil kalıp ve ölçüleri	63
Şekil 7.2 Cr ve Zr’ nin kullanılan örtü malzemelerine göre fire oranları	66
Şekil 7.3 Cr içeriğine göre sertlik değerleri	74
Şekil 7.4 (A), (B) ve (C) numunelerinin 100x büyütme ışık metal mikroskobundaki görüntüleri	76
Şekil 7.5 (D) ve (C) numunelerinin artan sıcaklığa bağlı olarak değişim gösteren sertlik değerleri.....	83
Şekil 7.6 (C) _{oda} , (D) _{oda} , (C) ₃₀₀ , (D) ₃₀₀ , (C) ₄₅₀ ve (D) ₄₅₀ numunelerinin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri	85
Şekil 7.7 (1), (2) ve (3) numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri	90
Şekil 7.8 1 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	91
Şekil 7.9 2 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	92
Şekil 7.10 3 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	92
Şekil 7.11 1,2 ve 3 numaralı numunelerin HB Brinell Sertlik değerleri.....	94
Şekil 7.12 1,2 ve 3 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	95
Şekil 7.13 4,5 ve 6 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobundaki 100x büyütmedeki görüntüleri	97
Şekil 7.14 4 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	98
Şekil 7.15 5numaralı numunenin SEM görüntüsü	99
Şekil 7.16 6 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	99
Şekil 7.17 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri	101
Şekil 7.18 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	102
Şekil 7.19 7,8 ve 9 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri	103
Şekil 7.20 7 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	104
Şekil 7.21 8 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	105
Şekil 7.22 9 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	105
Şekil 7.23 7,8 ve 9 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri.....	107
Şekil 7.24 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	108
Şekil 7.25 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri	110
Şekil 7.26 10 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	111
Şekil 7.27 11 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	112
Şekil 7.28 12 numaralı numunenin SEM görüntüsü.....	112
Şekil 7.29 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri	113
Şekil 7.30 10,11 ve 12 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	115

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bakır- krom-zirkonyum alaşımlarının standartları ve bileşimleri	5
Çizelge 2.2 Bakır- krom- zirkonyum alaşımlarının fiziksel özellikleri	5
Çizelge 2.3 Bakır- krom- zirkonyum alaşımlarının mekanik özellikleri	6
Çizelge 2.4 Kalıntı deoksidantlarının elektrik iletkenliğine etkileri	13
Çizelge 4.1 Bakır krom zirkonyum alaşımlarının üretiminde değişik örtü kullanımı (Golovveshko V.F., Sergeen L.N. 1982).....	22
Çizelge 4.5 Nötr örtü altında ergime işleminde deoksidant olarak fosfor ve lityum ilavesi	27
Çizelge 4.7 Kalsiyum borür deoksidant kullanımı sonucu bazı özellikler (Murthy K.S.S. 1984).....	29
Çizelge 4.8 Nötr örtü altında ergitme işleminde deoksidant olarak sisteme lityum ilavesi (Murthy K.S.S. 1984).....	30
Çizelge 6.1 Bakır krom zirkonyum alaşımlarının ısı işlemlerinde ve sonrasında karşılaşılan sorunlar ve sebepleri.....	61
Çizelge 7.1 Hazırlanan alaşımların spektral analizleri	73
Çizelge 7.2 Hazırlanan alaşımların Brinell Sertlik değerleri	74
Çizelge 7.3 CuCrZr Alaşımlarında kullanılan dağlama ayracı özellikleri ve uygulama şartları	75
Çizelge 7.4 (C) ve (D) numunelerinin spektral analizleri.....	81
Çizelge 7.5 Hazırlanan alaşımların Brinell Sertlik değerleri	82
Çizelge 7.6 1,2 ve 3 numaralı numunelerin sertlik değerleri	93
Çizelge 7.7 1,2 ve 3 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	95
Çizelge 7.8 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri.....	100
Çizelge 7.9 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	101
Çizelge 7.10 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri.....	106
Çizelge 7.11 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	108
Çizelge 7.12 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri	113
Çizelge 7.11 10,11 ve 12 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri	114

ÖNSÖZ

Üniversite eğitim hayatım boyunca bana her türlü yardım ve desteği sağlayan, beni yönlendiren saygı değer Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu'na teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarımın başından sonuna kadar beni her zaman destekleyen ve çalışmamla ilgili bilgilere ulaşmamda bana kolaylık sağlayan Met. Müh. Mehmet Cıklakarslı'ya ve bana sürekli moral desteği veren. Dr. Tanla Abkan'a ve Uzm. Dr. Aygöl Yeprem'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin yazım aşamasında elinden gelen her türlü yardımı esirgemeyen arkadaşlarım Murat Özgen, Burcu Buldu ve Doğa Eşiz'e, ve tüm sıkıntılarımı benimle paylaşan, sürekli yanımda olup her konuda elinden gelen yardımı yapan eşim Bora Eşiz'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, her türlü derdimi sıkıntımı paylaştığım annem,babam ve kız kardeşime sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır. Kullanım alanlarına her geçen gün bir yenisi eklenen ve özellikleri sürekli geliştirilmekte olan bu alaşımların kullanım yerlerine örnek olarak; kontak malzemeleri, elektrik direnç kaynağı elektrodları, motor parçaları ve son yıllarda kırılma tokluğunun istenen değerlere ulaşması sonucunda nükleer uygulamalarda özellikle füzyon reaktörleri verilebilir. CuCrZr alaşımları çökelme sertleştirmesi ve yaşlandırma işlemlerinden sonra sahip oldukları yüksek sertlik, mukavemet ve yüksek yorulma dayanımı özelliklerini kazanırlar.

Bu çalışmada CuCrZr alaşımlarını, tekniğin ihtiyaçlarını karşılayabilecek özelliklere sahip bir şekilde üretmenin kriterleri incelenmiştir. Uygun örtü malzemesi seçimi, alaşım içerisinde Cr ve Zr oranlarının tesbiti ve ısıtılma işlem koşullarının belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Deneylerde sertlik değerleri Brinell Sertlik cihazında ve elektriksel iletkenlik değerleri Sigmatest D cihazlarında yapılmış, metalografik incelemeler için ise LEICA Image Analyzer marka ışık metal mikroskobu ve JEOL LV 5600 marka tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: CuCrZr alaşımları, Cr-bronzu, Zr-bronzu, yaşlandırma sertleştirmesi, ısıtılma işlemleri.

ABSTRACT

The usage of copper-chromium-zirconium (CuCrZr) alloys become significant in high temperatures beside the high mechanical features in the cases which heat and electricity conductivity are both needed. As the examples of application field, which a new one is added day by day and features are developed, electricity conductors, electricity resistivity welding electrodes, motor parts and in recent years as a result of the fracture toughness reaching to the needed values in the nuclear applications, especially fusion reactors. The alloys of CuCrZr gains high hardness and resistance specialities which they have after precipitation hardening and aging process.

In this study, the criters of the producing the CuCrZr alloys in a way covering necessity of technology are observed. Some series experiments are done for the determining the appropriate flux, the proportion of Cr and Zr in the alloys and thermal process conditions are observed comperatively.

In the experiments hardness values are taken from Brinell Hardness Device and electrical conductivity values are observed with Sigmatest D devices, and also for morphological observations LEICA Image Analyzer and JEOL LV 5600 scanning electrone microscope are used.

Keywords: Anahtar kelimeler: CuCrZr alloys, Cr-bronze, Zr-bronze, Age hardening, Heat Treatments.

1. GİRİŞ

Günümüzde yürütülen araştırmalarda ve yapılan çalışmalarda, tekniğin ve endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, arı malzemeler çeşitli yöntemlerle geliştirilmekte ve istenilen özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmektedir.

İşte bu nedenle, özellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır. Kullanım alanlarına her geçen gün bir yenisi eklenen ve özellikleri sürekli geliştirilmekte olan bu alaşımların kullanım yerlerine örnek olarak; kontak malzemeleri, elektrik direnç kaynağı elektrodları, motor parçaları ve son yıllarda kırılma tokluğunun istenen değerlere ulaşması sonucunda nükleer uygulamalarda özellikle füzyon reaktörleri verilebilir.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitilmesinde uygun eritken seçimi ile ve deoksidasyonun sağlanmasıyla eriyik metali empürite ve gazlardan koruma işlemi gerçekleştirilmektedir. Döküm sıcaklığı ve süresinin hassas bir şekilde kontrol edilmesi ile de döküm hataları en düşük seviyeye indirilmektedir. (Lui, Kang, Cao, Huang, Yen, Gu, 1999)

Koruyucu atmosfer altında gerçekleştirilen çözeltiye alma işlemi ile eriyik metalin oksitlenmesi önlenmekte ve uygun sıcaklık ve sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanarak optimum mekanik ve elektriksel özellikler sağlanabilmektedir. Ayrıca bakır-krom alaşımlarına kompozit malzeme üretiminde kullanılan mikroalaşımlama yöntemi ile ilave edilen zirkonyum ile artan sıcaklıkta sertlik değerlerinde yüksek artışlar sağlandığı yapılan bilimsel çalışmalarda öne sürülmüştür. (Edwards, 2000)

Son yıllarda bakır bazlı alaşımların ve bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının üretiminde elektro curuf arıtımı üzerine yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Elektrocuref arıtma yönteminde metalik olmayan empüritelerin tutulması sonucu özellikle süneklik olmak üzere daha iyi mekanik özellikler elde edilmektedir.

2. BAKIR- KROM- ZİRKONYUM ALAŞIMLARI

2.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımının Tarihçesi

Bakır – zirkonyum (Cu-Zr) alaşımları üzerine başarılı ilk laboratuvar çalışmaları 1928 yılında Allibone ve Sykes adlı bilim adamları tarafından vakum ve indüksiyon fırınlarında yapılmıştır. Bu çalışmalarda vakum ve indüksiyon fırınlarında %30 zirkonyum içeren alaşımların ergitmesi gerçekleştirilmiştir.

İlk zamanlarda ticari alanda pek rağbet görmeyen Cu-Zr alaşımları ancak 1936 yılında kullanılma fırsatı bulmuştur. Patenti Mallory'e verilen, %0.1-0.5 Zr içeren Cu-Zr alaşımı direnç kaynağında elektrot malzemesi olarak ve patenti Philips'e verilen, %0.1-3 Zr içeren Cu-Zr alaşımı elektronik uygulamalarda destekleyici tel malzemesi olarak kullanılmıştır. [1]

1830'dan beri gümüş kaplama uygulamalarında yüksek iletkenlik gereksiniminden dolayı yüksek sıcaklıkta tavllanmış yüksek iletkenlikli bakır kullanılmaktaydı. 2. Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde ise bu alaşımların yetersiz olduğu anlaşıldı ve özellikle modern dizaynlarda olmak üzere gerilme-sıcaklık altında daha yüksek performans gösterebilecek malzemelere ihtiyaç duyuldu. Bu zaman içerisinde yaklaşık %1 Cd yada Cr içeren bakır alaşımlarının %15-20 düzeyinde iletkenlik kaybına uğramaları pahasına, bakır-gümüş alaşımlarına nazaran daha yüksek tavlama sıcaklığına sahip oldukları anlaşıldı.

Günümüzde de kullanılan bu iki alaşım direnç kaynağı elektrodu ve yüksek performanslı değiştirici gibi zahmet isteyen uygulamalarda kullanılmaktadır. Ne yazık ki Cu-Cr alaşımlarının sadece sıcağıdaki davranış özellikleri geliştirilebildi ve buna ek olarak bu alaşımların yüksek sıcaklıklarda çentik hassasiyetine sahip oldukları anlaşıldı. Bu özellik Cu-Cr alaşımının değiştirici parçası olarak kullanıldığı alanlarda önemli bir dezavantaj yaratmaktaydı. Çünkü yüksek sıcaklık ve gerilim altında ve de yüksek hızlarda çalışıldığı için parça çatlama ve kırılma gösterebiliyordu.

Bu durum ilgili kurumları harekete geçirdi. Battelle Memorial Enstitüsü'nde bu dezavantajların giderilebilmesi ve kullanılacak alternatif malzemeler üzerinde çalışmalar yapıldı.

Yapılan çalışmaların amacı makul fiyatlarda olmak üzere en az %90 elektrik iletkenliğine ve 400 °C üzerinde tavlama sıcaklığına sahip, oda sıcaklığında Cu-Ag alaşımlarına göre daha yüksek dayanıma sahip değiştirici malzemeleri elde etmektir. 1956-1957 yıllarında serbest oksijenli bakıra %0.18-0.35 zirkonyum ilavesiyle elde edilen alaşımın istenen özelliklere sahip olduğu görüldü.

1960 yılında Saarivita zirkonyumun bakır içindeki katı çözünürlüğünü yeniden inceledi ve 980 °C olan ötektik sıcaklığında maksimum %0.15 çözünürlüğe ulaştığını belirtti. Zwicker ise zirkonyumun bakır içindeki çözünürlüğünün 965 °C ötektik sıcaklığında maksimum %0.11 olduğunu belirtti.

Saarivita (1960 yılında) 0,081 inç çapındaki tellerle yaptığı çalışmada %0.03'den %0.23'e kadar zirkonyum içeren ve ısıtım işlem görmüş alaşımların oda sıcaklığındaki özelliklerini inceledi ve bakır alaşımlarında % 0.05 ila 0.15 arasında zirkonyum katılmasının daha iyi sonuçlar vereceğini belirtti. Daha sonra Saarivita ve Taufebbaltt, ticari saflıktaki %0.10-0.15 zirkonyum içeren serbest oksijenli yüksek iletken (OFHC) bakırla, argon yalıtımıyla üretilmiş % 0.7 bakır-krom alaşımının kısa süreli yüksek sıcaklık özelliklerini incelediler. Yaptıkları araştırmada bakır-zirkonyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta daha iyi tel çekilebilme özelliğine ve 400 °C'de yapılan çekme testlerinde bakır krom alaşımlarına göre %50 daha fazla kopma uzaması gösterdiklerini ve 5 saat daha fazla dayanabildiklerini buldular. (Gusel, 2000)

Bakır-zirkonyum alaşımları üzerine yapılan araştırmalar Amerika'nın yanı sıra Fransa'da da devam etmekteydi. Amerika'dakilerden farklı olarak alınan patentlerde alaşımların içinde az miktarda fosfor, silisyum ve demir bulunmakta ayrıca bu alaşımlar yaşlanma sertleşmesi göstermemekteydi.

Her ne kadar pahalı ve zahmetli olsa da bakır-zirkonyum alaşımları, yüksek elektrik iletkenlikleri ve yüksek sıcaklıklardaki özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı değiştirici malzemesi olarak kullanılmıştır.

Bu alaşımların geliştirilmesi için yapılan deneysel çalışmalarda, sürünme davranışının özellikle yüksek verimli makinelerde ve uçak sanayiinde kullanılacak malzemenin uygunluğu açısından belirleyici bir özellik olduğu saptanmıştır. Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda, gerilim altında malzemenin yüksek derecede sürünme dayanımına sahip olması istenir. Bu sebeple alaşımların özellikleri bu yönde geliştirilmiştir.

2.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Gelişimi

Bakır-Krom-Zirkonyum üçlü alaşımının oluşturulması sürecinde, bakır-zirkonyum alaşımlarının iletkenlik özelliklerinin istenen değerlere ulaştığı gözlemlenmiş ancak bu alaşımların oda sıcaklığındaki sertlik ve dayanım değerlerinin yetersiz olduğu, buna karşılık bakır- krom alaşımlarının istenen dayanım değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu durum bu iki alaşımın birleştirilebileceği düşüncesini doğurmuş, ve bakır-krom-zirkonyum üçlü alaşımının oluşturulabilmesi için deneysel çalışmalara başlanmıştır. Yapılan testler ve ön çalışmalar sonucunda bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklardaki çekme özelliklerinin ve sürünme direncinin ayrıca bunun yanında tel haline çekilebilirliğinin bakır-krom ve bakır-zirkonyum alaşımlarına göre daha iyi olduğu saptandı.

Bakır-krom alaşımlarının en ciddi dezavantajı, çözünürlüğün en yüksek olduğu sıcaklıkta tane büyümesinin önlenmesinin çok zor olmasıdır. Bu alaşıma yapılan zirkonyum ilavesiyle çözünme sıcaklığının düştüğü ve böylece tane büyümesinin engellendiği ve kromun alaşımdaki çözünürlüğünün arttığı kanısına varılmıştır.

Bakır-zirkonyum alaşımıyla karşılaştırıldığında, yapılan testler sonucu bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının daha yüksek sürünme direncine sahip olduğu ve en önemlisi ikincil sürünmelerinin çok düşük bir hızda gerçekleştiği belirtilmiştir. Bakır-zirkonyum alaşımlarının iyi olan sürünme direnci, iletkenlik ve çentik hassasiyeti gibi özelliklerini optimize etmek amacıyla oluşturulan bakır-krom-zirkonyum alaşımları günümüzde de bir gelişim sürecindedir.

2.3 Bakır- Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Standartları ve Bileşimleri

Çizelge 2.1 Bakır- krom-zirkonyum alaşımlarının standartları ve bileşimleri

STANDART	SEMBOLÜ	BİLEŞİMİ	
ISO	5182 A2/2	Cu	%98.3
DIN	17 666 - 2.1293	Cr	%0.3-1.2
BS	CC102 – 4577 A2/2	Zr	%0.03-0.3
		Empürite	< 0.2

2.4 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

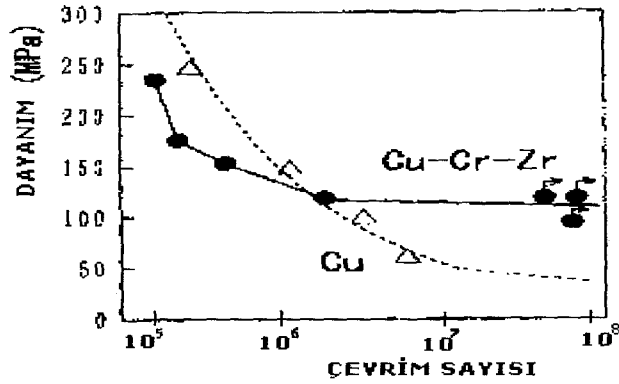
Çizelge 2.2 Bakır- krom- zirkonyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

Bileşim	Cu-%1 Cr alaşımı	
Yoğunluk	8,83-8,92 gr/cm ³	
Isıl genleşme	15,8×10 ⁻⁶ /C (0-100°C)	
Katsayısı	17×10 ⁻⁶ /C (100-300°C)	
Ergime Sıcaklığı	1076 °C	
Özgül ısı (20	0,092 cal/gr/°C	
Isı İletkenliği	Çözeltiye	0,4 cal/cm ² /cm/sn/°C
(20 °C)	Yaşlandırılmış	0,75 cal/cm ² /cm/sn/°C
Elektrik	Çözeltiye	%40-50 I.A.C.S.
İletkenliği (20	Yaşlandırılmış	%80-90 I.A.C.S.
Elektriksel	Çözeltiye	3,83 μohm /cm ²
Direnç (20 °C)	Yaşlandırılmış	2,10 μohm /cm ²
Elektriksel	Çözeltiye	0,002 / °C
Direncin	Yaşlandırılmış	0,003 / °C
Sıcaklık		
katsayısı		

Bakır - krom - zirkonyum alaşımları, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek oluşu ile bakır alaşımları içinde öne çıkan alaşımlardır. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının dirençleri ve ısıda yumuşamaları serbest oksijenli yüksek iletkenliğe sahip bakıra (OFHC) oranla daha iyidir. Bunun yanında bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında yüksek sıcaklıkta mukavemet değişimi OFHC bakırlarına nazaran daha az görülmektedir.(Şekil 2.1)

Çizelge 2.3 Bakır- krom- zirkonyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Cu-%1 Cr	Döküm	Soğuk Şekil Verilmiş ve Yaşlandırılmış	Plastik Şekil Verilmiş		
		%10 Şekillendirilmiş	%25 Şekillendirilmiş	Çözeltiliye Alınmış	Yaşlandırılmış
Çekme Mukavemeti Kg/mm ²	35	47-48	52	23.5-24	33-41
Akma Mukavemeti Kg/mm ²	19	28.5	32	3.1	22
% Uzama	15	15	10	50	22



(110 mm², 15kN)

Şekil 2.1 Bakır-Krom-Zirkonyum alaşımlarının yorulma dayanımı (Nagasawa, 2001)

2.5 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının İşlenebilirlik ve Lehimlenebilirlik Özellikleri

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları 900°C ve üzerindeki sıcaklıklarda çözeltiye alınabilirler ve bu sıcaklıklarda yumuşak ve kolaylıkla işlenebilir özelliklere sahiptirler. Yaşlandırma işleminden sonra ise sertlik değerleri 140 HB'ye kadar çıkmaktadır ve kesilmesi zordur ancak mekanik işlenmelerinde problem çıkmamaktadır.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımından yapılmış kısımların birleştirilmesinde yumuşak lehim veya gümüş lehimini uygulanabilmektedir. Ancak birleştirilecek yüzeyler temiz olmalıdır. Isınma esnasında krom oksidin oluşumunu önlemek ya da gidermek için florür içerikli örtüler kullanılmaktadır. Yumuşak lehimleme hariç diğer birleştirme işlemleri son ısıtma işleminden önce yapılmalıdır. (American Society of Metals 1973)

2.6 Bakır-Krom – Zirkonyum Alaşımlarının Korozyon Dirençleri

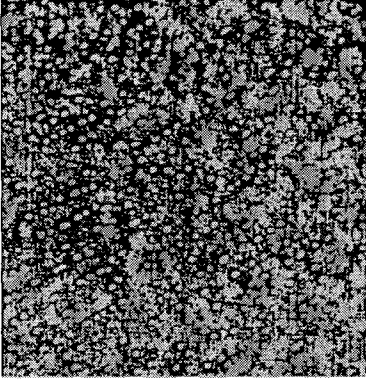
Bakır-krom-zirkonyum alaşımları korozyona karşı gösterdikleri direnç, saf bakırın korozyon direnciyle yaklaşık olarak aynı değerdedir. Bu yönleriyle bakırın kullanıldığı gıda ve kimya endüstrisinde de kullanılabilmektedirler. Yüksek sıcaklıklarda oksitlenme açısından da bakırla karşılaştırılabilirler. Bakır-Krom-Zirkonyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemleri mekanik özelliklerde belirgin yükselişler görülürken korozyon direncinde artış görülmemektedir.

2.7 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mikroyapıları

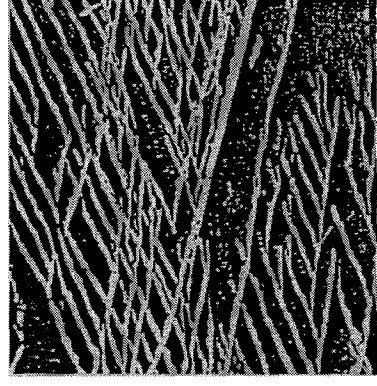
Son zamanlarda birçok bakır-krom ötektik mikroyapının izotermal kararlılıkları incelendiğinde yüksek sıcaklıklarda ergiyen alaşımların mükemmel mikroyapısal kararlılık gösterdikleri gözlenmektedir. Bu alaşımlar genellikle üniform mikroyapı gösterdiklerinden katılaşma sırasında ortaya çıkan dallanma , bandlaşma veya arayüzey tabakaları gibi yapısal hatalar kolayca belirlenebilmektedir.

Metalografik incelemelerde değişik katılaşma hızları altında iki tip yapının ortaya çıktığı gözlenmektedir.

Birinci tip yapı şekil 2.2'de gösterilen düşük büyüme hızlarında yüksek oranda dendritik yapı , ikinci tip yapı ise şekil 2.3'de gösterilen dallanmamış veya düzenli krom fiberleri yapısıdır. Düşük katılaşma hızlarında dendritik yapıya eğilim daha fazla olmaktadır.

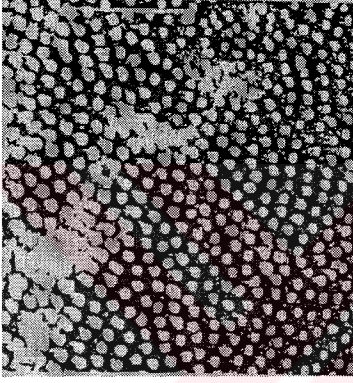


(a) Dik Kesit



(b) Paralel Kesit

Şekil 2.2 Bakır-Krom ötektik alaşımında dentritik yapı (600x)



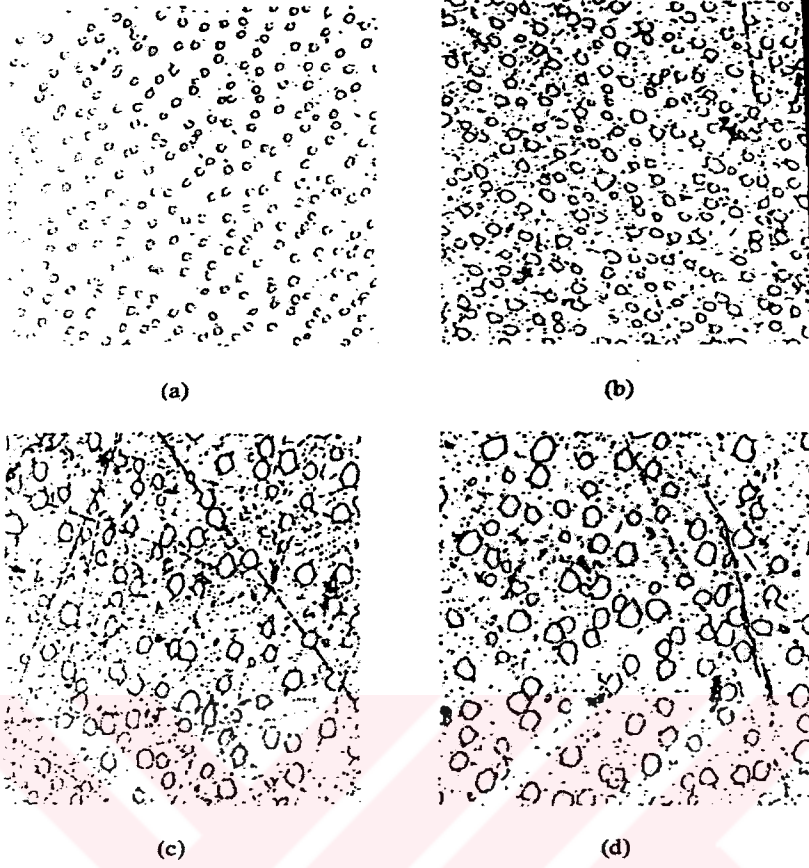
(a)Dik Kesit (1000 x)



(b)Paralel Kesit, Derin Dağlanmış (3000 x)

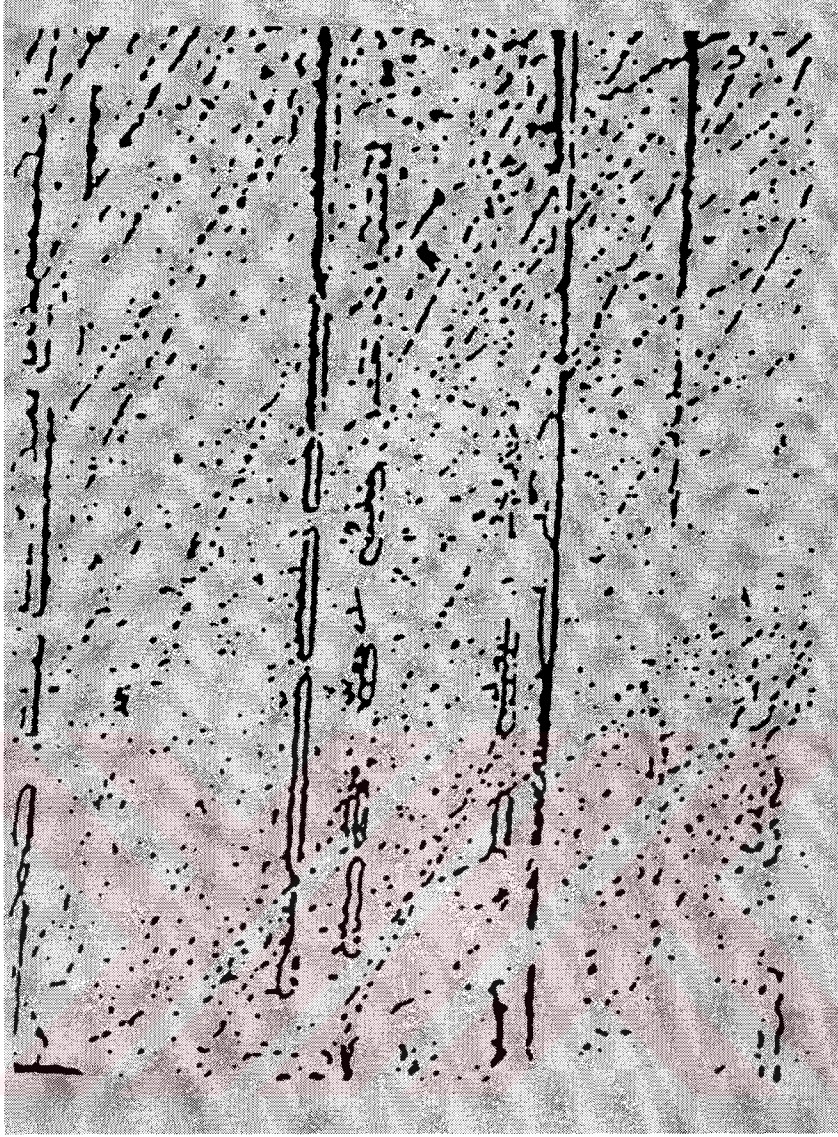
Şekil 2.3 Bakır-Krom ötektik alaşımında hekzagonal fiber yapısı

Şekil 2.2.(a)'da dentritik yapının dik kesitine paralel fiberler görülmektedir. Düzenli ötektik morfolojisi ile düşük büyüme hızları arasındaki ilişki henüz teorik bir açıklama kazanmamakla birlikte ampirik bağlantılar geliştirilmiştir. (Smartt ve Courtney, 1982)



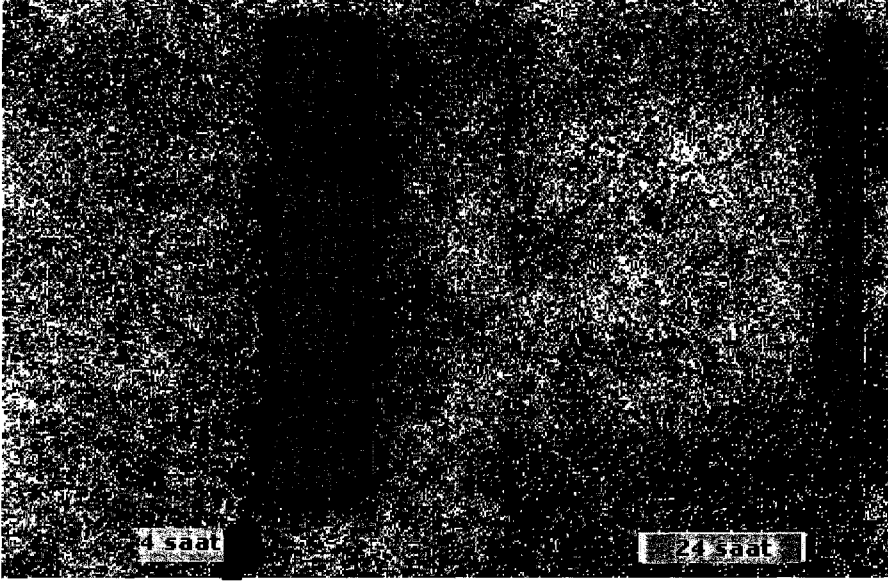
Şekil 2.4 Bakır-krom ötektik alaşımının dik kesidi (1000 x). 950°C'de çözeltiye ölmüş, a)0 saat, b)64 saat, c)272 saat, d) 344 saat

Sekil 2.4 'de görüldüğü gibi ilk fiber yerleşimi zayıf ve az çok rastgele olmakta fakat düzenli olmamaktadır. Katılaşma ilerledikçe büyük çapa sahip fiberler büyümekte ve küçük çapa sahip olanlar erimektedir. Bu iki boyutlu Ostwald büyüme mekanizmasında belirlendiği gibi olmaktadır. Daha uzun katılaşma sürelerinde veya fiber yoğunluğu $3 \times 10^3 / \text{cm}^3$ 'ün altına düştüğünde fiber yoğunluğu hızla düşmektedir. Bu , katılaşma sırasında üç boyutlu etkiler sonucu ortaya çıkmaktadır. (Lin, Courtney, Stark, Ralis 1976)



Şekil 2.5 950°C'de 272 saat çözeltiye alınmış numunenin paralel kesiti. (1000 x).

Katılaşma sırasında başka ilginç bir etki daha gözlenmektedir. Yüksek sıcaklıklarda numunenin serbest yüzeyine yakın kısımlarda kromca fakir bölge görülmekte ve bunu yüzeyde bir krom tabakası oluşumu takip etmektedir (Şekil 2.5). Fibersiz bölgenin kalınlığı ve krom yüzey tabakası çözeltiye alma sıcaklığının artması ile artmaktadır. Buna benzer bir durum yine yüksek sıcaklıklarda Fe-FeS ötektiğinde Marich tarafından gözlenmiştir.



Şekil 2.6 900°C'de çözeltiye alınmış numune yüzeyinde fibersiz bir zon oluşumu (1000 x).
(Marich S. 1980)

Bakır-krom ötektik alaşımında Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'den de görüldüğü gibi iki ana mikroyapı elde edilmektedir. Dendritik yapının katılaşma kinetiği basit geometrilere dayanılarak analiz edilememektedir. Fakat, düzenli yapıya kıyasla bu mikroyapının hızlı katılaşmayı yönlendirilmiş katılaşan ötektiklerin ısı kararlılıkları üzerinde katılaşma hatalarının önemli etkilerini ortaya koymaktadır. (Ardell, 1982)

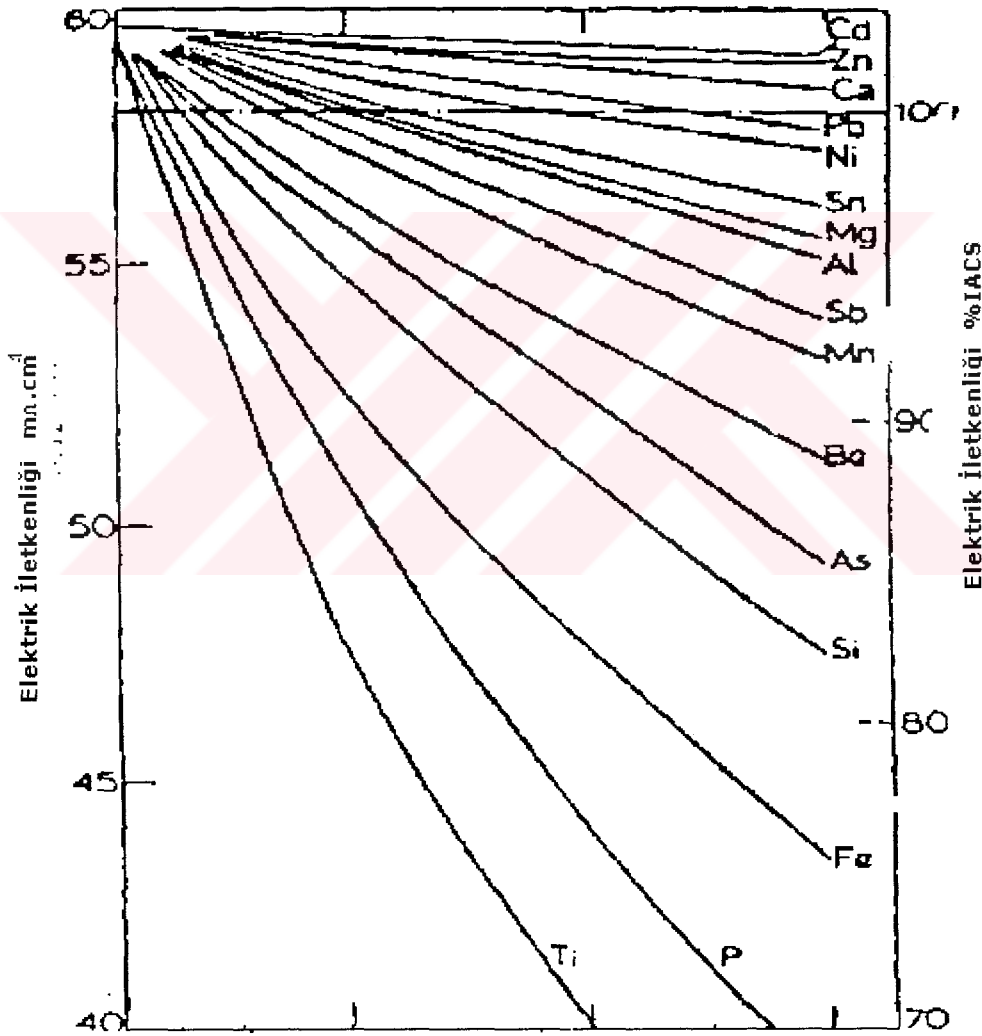
Düzenli yapıda krom fiberleri büyüme yönüne paralel olarak dizilmekte ve katılaşma kinetikleri Ostwald büyüme teorisinin temel kabulleri kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Küreler ve fiberler üzerine Ostwald büyüme kinetiği teorik olarak birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Orjinal teoriler daha kesin olarak iyi dağılmış çökelti parçacıkları kapsayan sistemler için uygun olmaktadır. (Cline, Smarrt. Courtney 1981)

2.8 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Empüriteler ve Etkileri

Bakır-Krom-Zirkonyum alaşımlarının üretiminde çeşitli deoksidant maddeler kullanılır. Üretimin her aşamasında olduğu gibi deoksidant madde seçiminde de en önemli kriterlerden bir tanesi maliyettir. Bu nedenle en ekonomik deoksidantlar tercih edilir. Ekonomik şartlar göz önüne alındığında en çok tercih edilen deoksidant madde bakır-fosfordur.

Ancak deoksidant kalıntılarının elektrik ve ısı iletkenliğine etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin alaşım içerisindeki fosfor, belirli bir limiti aştığında alaşımın iletkenliği önemli ölçüde düşmekte ve fosfor kalıntıları mekanik özellikleri de belirgin bir şekilde düşürmektedir.

Alaşımın içinde bulunan tüm empüriteler elektrik iletkenliğini azaltacak yönde etki ederler. Katı çözeltide bir kalıntı tamamen yada kısmen ikincil bir faz olarak yapıda ortaya çıkar ki bu hali ilk halinden daha zararlıdır. Kalıntı empüritelerin elektrik iletkenliğine etkileri Şekil 2.7 de gösterilmekte olup Çizelge 2.4'de özetlenmiştir.



Şekil 2.7 Empüritelerin elektrik iletkenliğine etkileri (20°C'de)

Ergitme işlemi sırasında deoksidant olarak ön alaşım şeklinde kullanılan silisyum, fosfor vb. elementler elektrik iletkenliğini belirgin bir ölçüde düşürmektedirler. Bu etkilerini azaltmak için dökümden önce yani ergitme sırasında, sıvı metal içindeki oksijen içeriğinin belirlenip, bu oranda deoksidant kullanılması daha uygundur. Yani elektriksel iletkenliğin önemli bir kriter teşkil ettiği bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında, iletkenlikteki düşüşün en aza indirgenmesi için fosfor vb. kalıntıların, mümkün olduğunca alaşım içerisinde az miktarlarda kalmasını sağlamak gerekmektedir. (Murthy, 1984)

Yarı doymuş durumdaki bir empüriteyi özel ısıtma işlemleri uygulayarak çökelti haline getirmek ve empüritelerin oksidasyonunu sağlamak, elektrik iletkenliğini az da olsa arttırmak için kullanılabilecek yöntemlerdir. (Murthy, 1984)

Çizelge 2.4 Kalıntı deoksidantlarının elektrik iletkenliğine etkileri

Kullanılan Deoksidant miktarı %	Fosfor		Kalsiyum-Borür	
	Kalıntı fosfor %	Elektrik İletkenliği %I.A.C.S.	Kalıntı Kalsiyum-Borür %	Elektrik İletkenliği %I.A.C.S.
0,01	0,005	98,01	-	-
0,05	0,028	90,39	-	98,48
0,10	0,060	76,10	-	100,90
0,20	0,071	70,25	-	100,27

3. BAKIR ALAŞIMLARINDA ERGİMİŞ HALDE BULUNAN GAZLAR

Vakum ortamı dışındaki bütün ergime ortamlarında metaller gazlara karşı korunmasız bir şekilde ergirler. Sıvı metalin bünyesine giren bu gazlar atmosferdeki gazlardır. Gazların metalle etkileşimi, ısı iletimi için kullanılan yakıtın yanmasına bağlıdır ve yanma sonucu su buharı açığa çıkar. Tüm alaşımlarda olduğu gibi pirinçlerin ve bronzların ergitilmesi sırasında açığa çıkan su buharı, atomik halde hidrojen ve oksijen şeklinde parçalanır. Açığa çıkan hidrojen atomik halde eriyiğin içine yayılır, oksijen atomları ise oksit bileşikleri halinde metal içinde çözünür. Bunların dışında karbon gazının ve hidrokarbonların yanması sonucunda da su buharı açığa çıkar. Gazların eriyikle etkileşimleri sıcaklığın yükselmesiyle daha da artmaktadır.

Saf metallerin, ergime ortamındaki gazlarla olan etkileşimi alaşımlara göre biraz daha farklıdır. Oksijenin arı bakırdaki çözünürlüğü bakır alaşımlarındaki çözünürlüğünden daha yüksektir.

Ayrıca bakırla alaşım oluşturan krom, kalay, kurşun ve çinko elementleri oksijenin metal alaşımı içinde çözünmesini engellemektedir. Ancak bu alaşımlarda hidrojen çözünürlüğü ise diğer bakır alaşımlarından daha fazladır.

Metal içerisindeki çözünürlük gazın cinsine göre de değişmektedir. Bakır alaşımlarında hidrojen ve oksijenin çözünürlüğü oldukça yüksek azotun çözünürlüğü ise düşüktür. Kükürt ve karbon ise sınırlı bir çözünürlüğe sahiptir.

Çözünmüş gazların bakır alaşımlarına etkileri, alüminyum alaşımlarına ve çeliklere olan etkileriyle benzerdir. Bilindiği gibi katı metallerin gaz çözünürlüğü düşük, sıvı metallerin ise yüksektir. Katı ve sıvı fazların gaz çözünürlükleri arasındaki bu fark , döküm sonucu katıda oluşan gaz gözenekliliğinin sebebini oluşturmaktadır. Bakır alaşımlarında çözünmüş olan gazların tamamı katılaşma sonrasında açığa çıkmamakta, katıda bir miktar kalıntı gaz kalmaktadır.

Alüminyum alaşımlarında ise eriyik halde gaz çözünebilirliği yüksek iken katı durumda neredeyse sıfırdır. Yani iyi bir gaz alma tekniğiyle bünyesinde hiç gaz bulundurmeyen bir alüminyum döküm parçası elde edilebilir. Aşağıda sıralanan gazlar hem bronz hem de pirinçlerde bulunabilmektedir.

Oksijen : Oksijen gazı yanan yakıtın etkisiyle hava ortamından yada yakıt etkisi olmaksızın direkt olarak hava ortamından metalin bünyesine girebilir. Oksijen tek başına, eriyik içinde düşük çözünürlüğe sahiptir. Bu sebeple bakır alaşımları içerisinde bakır – oksit (Cu_2O) ve yapıdaki minerallerle (Fe, Sn, Zn vs.) oluşturduğu oksit bileşimi şeklinde çözünür.

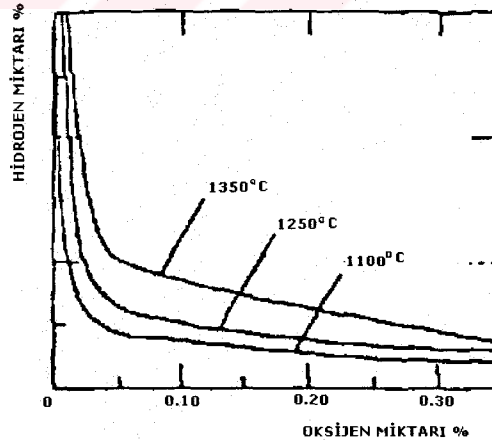
Azot : Azot gazı bileşime hava ortamından gelir. Ancak bilindiği kadarıyla azotun eriyik ve katı içerisinde önemli bir derecede çözünürlüğü yoktur.

Hidrojen : Hidrojen, yakıtın kendisinden yada yanmasıyla açığa çıkan su buharının parçalanmasıyla yapıya yayılır. Su buharının parçalanması yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştiğinde, açığa çıkan hidrojen eriyik içine yayılır. Oksijen ise düşük çözünürlüğe sahiptir ve curufa karışacak olan oksit bileşikleri oluşturur.

CO ve CO_2 : Karbonmonoksit ve karbondioksit gazları, yağların ve yapıdaki gazların yanma ürünü olarak açığa çıkar. Bilindiği kadarıyla yapıda düşük çözünürlüğe sahiptirler.

Kükürt : Kükürt, saf bakır için birincil derecede önemli bir elementtir ancak bakır alaşımlarında aynı derecede bir önem teşkil etmez. Kükürt, yapıda SO_2 oluşturabilmektedir.

Hidrokarbonlar : Yapıdaki varlıkları her ne kadar önemli olmasa da gaz gözenekliliğine bir miktar etki eden hidrokarbonlar aynı zamanda hidrojen kaynağıdır. (American Foundrymen's Society, 1973)



Şekil 3.1 Ergimiş sıvı metalde değişik sıcaklıklarda oksijen ile hidrojen içeriği arasındaki ilişki (Murthy K.S.S. 1984)

3.1 Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkileri

Gazlar bakır alaşımlarının yapısındaki gözeneklere nüfuz ettiğinden yapıya zarar vermekte ve alaşımların mekanik özelliklerini düşürmektedir. Bu sebeple eriyik içerisinde bulunan gazların döküm işlemi yapılmadan önce mutlaka eriyikten ayrılması gerekir.

Alaşımların yapısındaki dallantılar ve taneler arasındaki bölgelere yayılmış bulunan gazlar alaşımların fiziksel özelliklerini kötü yönde etkilerler. Sıcaklığın düşmesiyle çözünürlüğü azalan ve eriyik çözeltiden ayrılan gazlar tane sınırlarında veya dallantıların arasında birikerek bu bölgeleri zayıflatırlar. Metal içerisindeki gazda oksijen varsa oksit , kükürt varsa kükürttrioksit (SO_3) oluşur.

Hızlı soğuma etkisiyle meydana gelen katılaşma sonucunda gazların yayınma mesafesi çok kısalmış ve çentik etkisi yaparlar, alaşımların fiziksel özelliklerini ve çekme özelliklerini düşürürler. Soğuma hızı düşük olduğunda ise yapıyı gerilimli bir hale getirirler ve alaşımların mekanik özelliklerini düşürürler.

Yapıdan ayrılması bir hayli zor olan bu gazlar büzüşmeyi, büzüşme de gözenekliliği etkilemektedir. Çözeltiden ayrılan gazların döküm kalıbı içerisinde dışarıya çıkmaları sağlanmazsa, kalıp içerisinde katılaşmaya başlayan eriyik metale gazlar tarafından basınç uygulanır ve bu da metalin daha fazla büzüşmesine yol açar. Yani gazlar kalıp içerisinde kendilerine yer edinmiş olurlar. Bunun sonucunda katılaştıran metalde boşluklar görülür. (Stomakhina , Kundrashova , Strel'tsov 1981)

3.2 Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Döküm Özellikleri Üzerine Etkileri

Çözünmüş gazların döküm özelliklerine en belirgin etkisi, oksijenden kaynaklanan metal-oksit oluşumudur. Eriyik haldeki bronzlarda bulunan oksitler, bulunduğu alaşımların akıcılığını azaltır. Bu da döküm kalitesini düşürür. Akıcı alaşımlar ile akıcı olmayan, ağır alaşımların oluşturdıkları oksit miktarları birbirinden farklıdır.

Eriyik içerisinde bulunan diğerk bir gaz olan hidrojenin döküm özelliklerine çok büyük bir etkisi yoktur ancak katılaşıan metali kırılganlaştırmaktadır. Hidrojen, tayin edilmesi zor olan bir gazdır. Çözünmüş hidrojenin tam olarak etkileri ve miktarı kesin bir şekilde anlaşılamaz, ancak yaklaşık değerlerle bilinir. Çözünmüş gazlar dökümde dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardır. Döküm işleminde gaz gözenekliliğine dikkat edilmez ya da bu durum önlenemezse döküm sonucunda elde edilen parça istenilen nitelikte olmaz. Böyle bir durumda parça hurdaya atılır. Bu durum mekanik uygulamalarda olduğu gibi parlatma ve kaplama işlemlerinde de önem arz eder. Gaz gözenekliliğinin herhangi bir toleransı yoktur.

Gaz gözenekliliği parçanın bir kesitinde boydan boya var ise bu kusuru tümüyle ortadan kaldırmak mümkün değildir. Parlatma işleminde gözeneklerde düzgünlük ve yumuşama olur. Elektrik akımıyla kaplama işleminde kullanılan kimyasal temizleyiciler ve çözücülerin etkisiyle gözenekler katı kabuk üzerinde ortaya çıkar.Yapıdaki iç gözenekler, döküm parçasının sızdırma yapmasına sebep olurlar. Bu gözenekler, büzüşmeden dolayı oluşan gözenekler ve gaz gözenekleridir. Aynı zamanda eriyik çözeltiden ayrılan bu gazların etkisiyle zayıf olan büzüşme koşulları belirgin bir şekilde kötüleşir. Yapıda bulunan gazların, metalin bileşenleriyle tepkimeye girmesi sonucu oluşan oksit ve sülfidler döküm yapısının kararlılığını düşürmektedir. Metal matriks içerisinde yabancı madde olarak tanımlanan bu bileşikler yapıyı gerilimli bir hale getirerek dayanımı düşürürler.

Alaşıım içerisinde sınırlı miktarlarda bulunan gazların, alaşıma düşük hızda yapılacak bir katılaştırma işleminde iç büzüşmelerin dengelenmesine yardımcı rol oynadıkları bilinmektedir. Ancak bu yardım çok da belirgin düzeyde değildir. Bakır alaşımlarında, yolluk, çıkıcı ve besleyici teknikleriyle yapıda bulunan gazları tamamen uzaklaştırmak fazlasıyla zordur. Arta kalan gazların, yapıda bulunan dallantılar arasındaki gözeneklerin düzenlenmesine ve bu gözeneklerin yapının kararlılığına ve çekme özelliklerine olan zararlı etkilerinin de minimum düzeye inmesine olumlu etkileri vardır. (American Foundrymen's Society, 1973).

4. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARININ ERGİTME PRATİĞİ

4.1 Metal ve Alaşımlarında Ergitme Pratiğı

Döküm işlemine uygun hale getirilmek istenen metallerin öncelikle katı fazdan sıvı faza geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlem yakıtle yada elektrik enerjisiyle çalışan fırınlarda, metali yada alaşımı ergiyinceye kadar ısıtmak suretiyle yapılmaktadır.

Bilindiğı gibi ergime noktası metaller ve alaşımlar için ayırt edici bir özelliktir. Dolayısıyla her bir metal veya alaşımın ergitilmesi için gerekli olan ısı miktarı da farklı olmaktadır. Katı – sıvı faz dönüşümü için gerekli olan ısının aktarılması sonucu metalde aşağıda sıralanan bazı durumlar ve değişimler meydana gelmektedir.

- Potanın sıcaklığı yükselir. Başka değişimler gerçekleşene kadar ısı verilmesiyle metaldeki sıcaklık artışı kolaylıkla anlaşılır.
- Potada bulunan metalin sıvılaşmasıyla moleküler aktivitesi artar ve böylece metal akışkanlık kazanır. Bu olay birçok malzeme için genel geçer bir durumdur.
- Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra da sıcaklık arttırılmaya devam edilirse metalin akışkanlığı daha da artacaktır.
- Potada ve metalin bünyesinde bulunan bazı maddeler, metalin ergimesi sırasında buharlaşıp potada bir buhar basıncı oluştururlar.
- Bazı alaşımlar sıcaklığın artmasıyla oksitlenirler. Oksitlenme hızı alaşımın kompozisyonu ve sıcaklığına bağlıdır. Alaşımlarda olduğu gibi birçok metalde de sıcaklığın artışıyla oksitlenme görülür.
- Sıcaklığın artmasıyla gaz çözünürlüğü artar ve metal, bünyesinde gazları çözündürmeye eğilimli bir hale gelir. Katı metallerde gaz çözünürlüğü çok düşük bir seviyededir. Metalin katı fazdan sıvı faza geçmesiyle artan gaz çözünürlüğü, sıcaklığın yükseltilmesiyle daha da büyük boyutlara ulaşmaktadır. (American Foundrymen's Society, 1973)

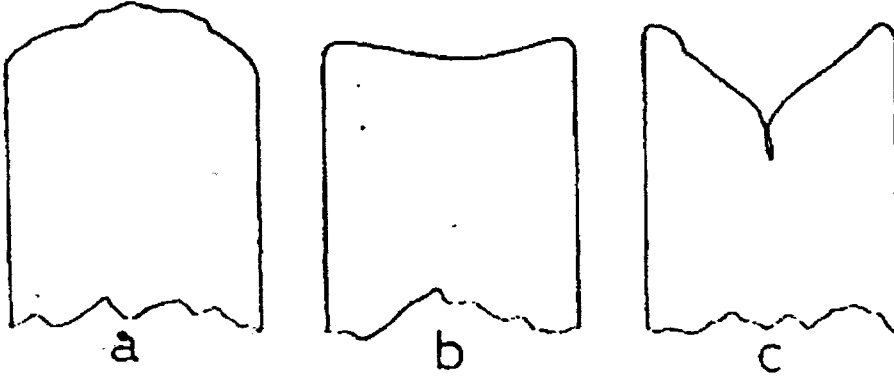
Gaz yada sıvı yakıtın kullanıldığı ergitmelerde yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkmaktadır. Ergitme işlemi ayrıca elektrikle çalışan fırınlarda da yapılmaktadır. Ergime sırasında nem oluşur. Metalin ergime sıcaklığına gelindiğinde, oluşan su buharı, kısmen parçalanır.

Bu parçalanma sonucu atomsal mertebede hidrojen ve oksijen açığa çıkar. Hidrojen eriyik metal içerisinde atomsal mertebede çözünürken, oksijen ise metal – oksit formunda çözünmeye uğrar. Ergiyik metalin sıcaklığı daha da arttırıldığında hidrojen ve oksitlerin çözünürlüğü de artmaktadır. Döküm işleminden sonra metal soğumaya ve katılaşmaya başladığında ise metal çözüldürdüğü hidrojen ve oksitleri kabul etmeme eğiliminde olacaktır. Çünkü sıcaklık düştükçe metal içerisinde gazların çözünürlüğü düşmektedir. Çözünürlükleri düşünce açığa çıkan hidrojen ve oksijen gazları tekrar birleşerek su buharını oluştururlar. Oluşan bu su buharı kalıpta bir basınç oluşturmaktadır. Ortamda buhar basıncına ilave olarak atmosfer basıncı da bulunmaktadır. Ancak atmosferin etkisi curuf oluşumunu da kolaylaştırmaktadır. Kalıptaki birikmiş gaz basıncı, atmosfer basıncının seviyesine ulaştığında gaz boşlukları kalıbın üst kısmına doğru ilerleyecek ve yolluk deliğinin alt kısımlarında yer alacaklardır. (Allen, 1930)

4.2 Bakır-Krom –Zirkonyum Alaşımlarının Ergitme Pratiği

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitilmesinde kromun ayrılmasını ve oksitlenmesini önlemek en önemli hususdur. İşlem elektrolitik bakırın koruyucu bir örtü altında ergitilmesi ve Cu-%5Cr veya Cu-%5 Cr ön alaşımının ilavesi ile alaşımlandırılması şeklinde yapılır.

Oksidasyon, kromun %10-30 seviyesinde kaybına yol açmaktadır . Krom veya Cu-Cr ön alaşımı okside olmuş sıvı metale katılmamalı, ön alaşım katılmadan önce deney silindirleri dökülmeli ve oksijen oranı saptanmalıdır. Deney numunelerinin üst kısmı Şekil 4.1 .(a)'da görüldüğü gibi ise sıvı metalin gazı giderilinceye kadar ön alaşım katılmamalı, mutlaka deoksidasyon yapılmalıdır. Eğer Şekil 4.1 (.b)'de görüldüğü gibi ise bu takdirde sistemde uzaklaştırılması gereken % 0.008 oksijen daha kalmaktadır. Eğer Şekil 4.1 (c)' de görüldüğü gibi bir deney numunesi elde edilirse o takdirde deoksidasyona gerek olmadığı ve sistemde oksijen içeriğinin normal olduğu belirlenmektedir. (Foseco LTD)



Şekil 4.1 Sıvı melalde hidrojen olup olmadığının tespitine yarayan deney numuneleri

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitilmesinde tüm demir dışı metal dökümhanelerinde kullanılan fırınlar uygun görülmektedir. Fakat fırın atmosferinin ve sıvı metalin kalite kontrolü açısından orta ve yüksek frekans indüksiyon fırınları ile indirekt ark fırınları tercih edilmektedir. Ayrıca küçük fırınlarda ergitme yakıt kontrollerin zorluğu açısından pek uygun değildir.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitme işlemi normal olarak bir örtü altında gerçekleşmektedir. Örtü olarak kömür tozu kullanıldığında kömür tozunun kum ve tozdan arındırılmış olması gerekmektedir. Bazen hafif oksidant atmosfer erimiş hidrojenin tam olarak çıkışını sağlayamamaktadır. Böyle bir durumda sıvı metalden oksijenin yavaş olarak çıkışını sağlayan ağırlıkça % 1 manganez tozu ilave edilebilmektedir. Alternatif olarak oksijen içeriği direkt bakır oksit ilavesi ile artırılabilir. Ergitme işlemi redükleyici bir atmosferde gerçekleşmiş olsa bile kalıba döküm sırasında veya kalıp içersinde sıvı metalin akışı sırasında meydana gelebilecek herhangi bir oksidasyonu önlemek için deoksidasyon gerekmektedir.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında nötr örtü olarak ergitme işlemi sırasında yavaşça eriyerek koruyucu bir curuf tabakası oluşturan cam ve boraks kullanılmaktadır, Ayrıca ergitme işleminde florür bazlı örtüler de kullanılabilir.

Metalin akıcılığını arttırdığından dökümden önce sıvı metal yüzeyine yani örtüye kuru ve temiz Silis kumu ilave edilmektedir. Böylece curufun viskozitesi artırılmakta ve alınması kolaylaştırılmaktadır.

Ergitme işleminde döküm kalitesini etkileyen önemli konulardan biri de şarj malzemesinin temizliğidir. Şarj malzemesi kesinlikle kirli ve yağlı olmamalıdır. Kirli ve yağlı hurdalar oksidant bir ön ergitmeye tabi tutulmaktadır. Böyle bir çift ergitme ile hidrojen dahil tüm empüriteler uzaklaştırılmaktadır. Hızlı bir ergitme ve aşırı ısıtmadan kaçınma ile hidrojen absorpsiyonu minimuma indirilmektedir. Azot gazı altında ergitme işlemi de hidrojen gazını azaltmak için uygulanan yöntemlerden biridir. (Muthy, 1984)

Gaz miktarını azaltmak için uygulanan yöntemlerden biri de vakum altında ergitme işlemidir. Bu amaç için vakumlu indüksiyon fırınları kullanılmaktadır. Kömür tozu örtüsü altında normal fırında ergitilen bakır-krom alaşımları ile vakum ark fırınında ergitilen bakır-krom alaşımları mukayese edildiğinde vakum ark fırınında ergitilen bakır-krom alaşımlarının mukavemetlerinin daha fazla olduğu ve yaşlandırma sonunda krom çökeltilerinin kararlılığının çok iyi olduğu gözlenmektedir. (Minushki, 1983)

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının eritilmesinde deoksidasyon kademesinin önemi büyük olmaktadır. Deoksidasyon ile sıvı metal içindeki oksijen curufta toplanabilmektedir.

4.3 Sıvı Bakırda Krom Erirliğine Ergitme Koşullarının Etkisi

Ergimiş bakır içinde krom erirliği süresinin bakır-krom alaşımlarının kalitesi üzerine etkisi büyük olmaktadır. Sıvı bakır içinde krom erirliği aşağıda belirtilen faktörlere bağlı kalmaktadır.

- Koruyucu bir örtü tabakasının mevcudiyeti.
- Bakır veya krom içinde doğal olarak bulunan değişik empüritelerin (silisyum, alüminyum, fosfor, oksijen) mevcudiyeti.
- Parçaların orjinal boyutları

Bilindiği gibi oksijen kromun bakır içinde erirliğini büyük ölçüde düşürmektedir. Sıvı metal içinde % 0.01 oksijen mevcut olduğunda krom sıvı bakır içinde hemen hemen hiç erimemektedir, yüzeyde bir oksit film oluşmaktadır. Sisteme deoksidant olarak fosfor ilavesi kromun erirlik oranını arttırmaktadır. Ergitme işlemini bir kalsiyum florür (CaF_2) örtü tabakası altında gerçekleştirmek de bakır içinde krom erirliğini arttırmaktadır. Bunlardan görüldüğü gibi kalsiyum florür, kuruma oranla sıvı metali oksidasyondan büyük ölçüde korumaktadır.

Çizelge 4. l'de gösterildiği gibi baz olarak florür içeren örtüler metali oksidasyona karşı büyük ölçüde korumakta ve curufa geçen metal miktarını azaltmaktadır. Kalsiyum florür içine kısmen kriyolit ilavesi örtünün etkinliğini arttırmaktadır. Ayrıca , bakır-krom alaşımları üretiminde de bakır-krom ön alaşımı tüketiminde % 20 azalma sağlamaktadır. Sisteme deoksidant olarak fosfor ilavesi kromun erirlik oranını arttırmaktadır.

Ergitme işlemini bir kalsiyum florür (CaF_2) örtü tabakası altında gerçekleştirmek de bakır içinde krom erirliğini arttırmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi kalsiyum florür kuruma oranla sıvı metali oksidasyondan büyük ölçüde korumaktadır.

Krom bir kurum örtüsü altında 1 saatte eridiğinde curufa geçen metal miktarı % 1 A iken kalsiyum florür örtüsü altında 1 saatte eridiğinde bu miktar % 0,32 olmaktadır. Kalsiyum florür krom erirliğini arttırmasında metal oksidasyonuna karşı koruyucu vazifesi görmesinin yanında krom oksitlere karşı bir arıtma görevi görmesinin de önemi büyüktür. Bu sayede bakır-krom-zirkonyum alaşımı üretiminde herhangi bir florür örtü kullanılarak % 80 bakır-krom-Zirkonyum alaşım hurdası ürünün kalitesini bozmadan kullanılabilir.

Çizelge 4.1 Bakır krom zirkonyum alaşımlarının üretiminde değişik örtü kullanımı
(Golovveshko , Sergeen 1982)

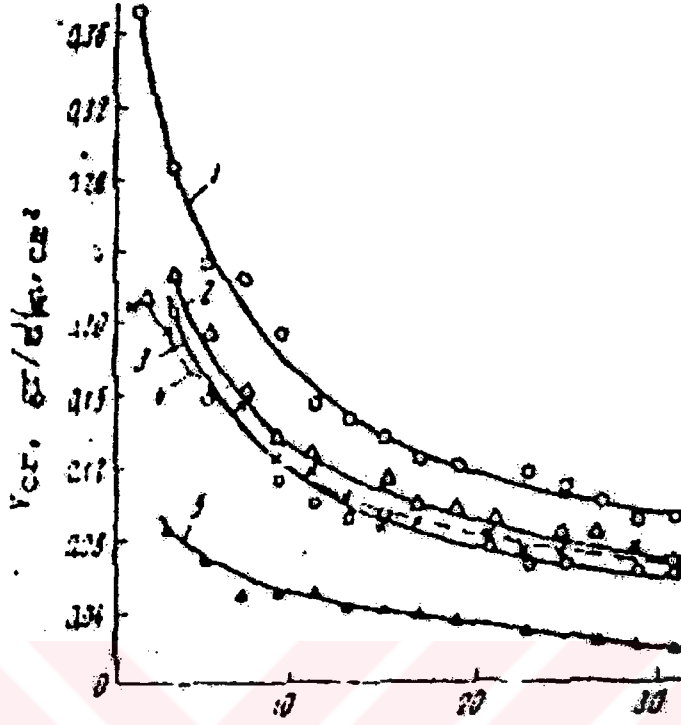
	Kurum	Kriyolit Kurum	Kriyolit ve CaF_2		Kurum	Kriyolit, CaF_2 ve Kurum
Ergitilmiş şarj (kg)	48300	16400	14730	13550	14820	4070
Toplam örtü tüketimi (kg)	-	100	80	70	-	50
Toplam Atılan Curuf (kg)	3188	868	586	382	1536	272
Curuf içinde metal kaybı %	6,6	4,64	3,43	2,32	10,3	5,45

Alüminyum ve silisyumun bazı şarj maddelerinde bulunmalarından dolayı bu metallerin de krom erirliğine etkileri vardır. Rene'nin araştırmalarına göre, alüminyum ergitme sırasında krom yüzeylerinde bir oksit filmi oluşturmaktadır, bu da krom erirliğini büyük ölçüde düşürmektedir. Silisyumun ise krom erirliğine hemen hemen etkisi yoktur .

İncelemelere göre kromun erimesi azalan bir hızla sürmektedir. Bunun nedenlerinden biri eridikçe krom parçacıklarının yüzey alanlarının azalmasıdır. Krom parçacıklarının yüzey alanları belirli bir değere geldiğinde kromun saflık derecesi etkili olmaya başlamaktadır. Alüminyum ve aliminyum oksidin krom içindeki mevcudiyeti erime hızını olumsuz yönde etkilemektedir. Ergitme sırasında , krom içinde bulunan alüminyum bakır içinde mevcut oksijen ile oksitlenmekte ve krom parçacıklarının yüzeylerinde pasif bir film oluşturmaktadır.

Krom parçacıkları ne kadar büyük ise kromun erimesi esnasında o kadar çok alüminyum, alüminyum oksit film oluşturma eğiliminde olmakta ve dolayısıyla kromun erimesi azalmaktadır. Böylece oksijenin yanısıra alüminyum da bakır içinde kromun erirliğini düşürmekte ve nihai alaşımda erimemiş krom inklüzyonlarının mevcudiyetine neden olmaktadır.

Başarılı bir ergitme işlemi için , krom sıvı bakıra ilave edilmeden önce küçük parçacıklar haline getirilmeli ve sıvı bakır da iyi bir şekilde deokside edilmelidir. Ayrıca oksidasyona karşı sıvı metali korumada florür bazlı örtüler kullanılmalıdır. Bu florür bazlı örtüler de karbon içeren örtülerle kullanılmalıdır. (Golovveshko , Sergeen , 1982)



Şekil 4.2 Ergitme koşullarına bağlı olarak kromun erime hızı. 1-CaF₂ ve kurum örtülü, 2-% 0.05-0.1 O fosfor, 3-Kurum örtülü, 4-% 0.13 silisyum, 5-% 0.19 alüminyum. (Golovveshko , Sergeen, 1982)

4.4 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Deoksidasyon

Uygun deoksidant seçimi bakır-krom alaşımlarının ergitilmesi ve dökümünde önemlidir. Alüminyum , berilyum , bor, bor karbür, kadmiyum , kalsiyum , kalsiyum borür, lityum, magnezyum, fosfor, silisyum içeren deoksidantlar mevcut olmalarına rağmen bunların hepsi endüstride kullanılmamaktadır. 1200°C-1300°C'de ergitilen bakır-krom alaşımlarının deoksidasyonu açısından bazı oksitlerin oluşum Gibbs serbest enerjileri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Çizelge 4.2'den de görüldüğü gibi kalsiyum , magnezyum , lityum ve bor kuvvetli oksit yapıcıdır. (Moore, 1981)

Tüm bu deoksidantların içinde bakır-krom alaşımlarının ergitme işleminde kalıntı fosforun elektrik iletkenliği üzerinde olumsuz etkisine rağmen ucuz , etkili ve uygun olduğundan Cu-%15 P ön alaşımı kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamada % 0.02 P kalıntısı tercih edilir. % 0.05'lik bir fosfor kalıntısı elektrik iletkenliğini % 30'un üzerinde bir oranda düşürmektedir.

Çizelge 4.2 1200 °C'deki bazı oksitlerin yaklaşık oluşum gibbs serbest enerjileri

$4\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O}$	-32 Kcal
$2\text{Pb} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{PbO}$	-32 Kcal
$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	-60 Kcal
$\frac{1}{2}\text{S}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$	-62 Kcal
$\frac{2}{5}\text{P}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5$	-72 Kcal
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	-80 Kcal
$2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$	-82 Kcal
$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	-95 Kcal
$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$	-116 Kcal
$\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$	-144 Kcal
$\frac{2}{3}\text{B}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \frac{2}{3}\text{B}_2\text{O}_3$	-192 Kcal
$4\text{Li} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Li}_2\text{O}$	-192 Kcal
$2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$	-206 Kcal

Nötr bir örtü altında % 0.25 oranında Cu-% 15P ön alaşımı ergitme işleminde kullanıldığında, döküm işlemi sonunda % 0.022 P kalıntı olarak bulunmaktadır. % 0.1 gibi daha düşük oranda Cu-%15 P ön alaşımı kullanıldığında döküm sonunda % 0.007 P kalıntı olarak bulunmasına rağmen melalin oksijen içeriği %0.01 olmakta ve gaz porozitesi oluşmasına yol açmaktadır. Buradan görülmektedir ki yaklaşık % 0,02 P kalıntı miktarına rağmen oksijen tamamen elimine edilememektedir. Bu deney sonuçları Çizelge 4.3'de özetlenmiştir. Tamamen kuru kömür tozunun kullanıldığı bir örtü altında redükleyici atmosferdeki bir ergitme deoksidasyona gerek göstermeyecek bir oksijen oranı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte , bu yöntemde kömür tozu tabakasının poröz kısımlarından veya yağlı hurda temiz olmayan metal ingotlar gibi dökümhane döndülerinden gelen hidrojene karşı bir korunma sağlanamamaktadır. Ayrıca , döküm sırasında metal türbülansından döküm parçasının geniş yüzeyleri atmosferdeki oksijen ile temas edecekler ve hidrojen ile oksijen reaksiyona girerek kaynama oluşturacaklardır. Dolayısıyla redükleyici atmosfer altında ergitme yerine hafif oksitleyici durumda bir örtü altında ergitme tercih edilmektedir. (Murthy, 1984)

Çizelge 4.3 Nötr örtü altında ergitilen metale Cu-%15P deoksidantının etkileri

Örtüsüz iken Cu-%15 P deoksidant İlavesi %	Örtülü iken Cu-%15 P Deoksidant İlavesi %	Kalıntı Oksijen %	Kalıntı Fosfor %	A
-	-	0,04	-	4
0,05	0,008	0,01	0,003	3
0,1	0,016	0,01	0,007	2
0,23	0,038	0	0,022	1
0,5	0,075	0	0,051	1

A:1. İyi kalitede hatasız parça

2. Az gaz içeren parça

3. Gazlı bir parça

4. çok fazla gazlı parça

5. Hatasız parça normal kalite

6. Hatasız parça

Yukarıdaki bu sonuçlar Murthy tarafından, yaş kum kalıba dökülen 25 mm çapında 100 mm uzunluğunda silindirik bir çubuktan elde edilmiştir.

% 80 I.A.C.S.'nin üzerinde elektrik iletkenliği istendiğinde , ikili bir deoksidasyon işlemi uygulamak ekonomik olarak uygun olmaktadır. İkili deoksidasyon işlemi için Cu-%15 P ve kalsiyum borür veya lityum kullanmak ekonomik olarak uygundur. Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'de bu işlemler gösterilmektedir. (Murthy, 1984)

Çizelge 4.4 Nötr örtü altında ergime işleminde deoksidant olarak fosfor ve kalsiyum borür ilavesi

İlave Edilen Malzeme Cinsi	İlave %	% P	% Ca	% B	Kalıntı Oksijen %	Kalıntı Fosfor %	Kalıntı Kalsiyum %	Kalıntı Bor %	X
-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	3
Cu-%15 P	0,15	0,023	-	-	Uygun	0,008	-	-	5
Kalsiyum Borür	0,1	-	0,038	0,062	-	0,008	-	0,005	1

Çizelge 4.5 Nötr örtü altında ergime işleminde deoksidant olarak fosfor ve lityum ilavesi

İlave Edilen Malzeme Cinsi	İlave %	% P	Kalıntı Oksijen %	Kalıntı Fosfor %	Kalıntı Lityum %	X
-	-	-	0,04	-	-	3
Cu-%15 P	0,15	0,023	0,01	0,007	-	6
Lityum	0,005	-	-	0,007	-	1
Lityum	0,015	-	-	0,006	0,008	6

Ergitme işleminde sıvı metaldeki fosfor içeriğinin kontrolü ve tayini kalıntı fosforun iletkenlik limitleri içinde kalmasını sağlamaktadır. Bu tayin için iki metod geliştirilmiştir. Birincisi, hızlı metalografi tekniğidir. Bu teknik deney numunelerinin mikroyapılarını standard numunelerin mikroyapıları ile mukayesesini içermektedir. İkincisi ise , elektrik iletkenliği ölçümüdür. Von Zeppelin isimli bir araştırmacının geliştirdiği bu methodda özel bir araçla tutulan 40 mm çaplı x 17 mm döküm numunelerinin parlatılmış yüzeylerinin elektrik iletkenliğinin ölçümü sağlanmaktadır. % 0.018 ile % 0.038 P içeriği 41-49 m/ohm mm² elektrik iletkenliği verirken saf bakır 53-55.5 m/ohm mm² elektrik iletkenliği göstermektedir. Bu işlem 2-4 dakika arasında tamamlanmaktadır.

Sıvı metalde direkt oksijen tayini mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte bakır içinde oksijen tayini laboratuarda hızlı bir şekilde yapılabilir. (Murthy, 1984 ve Sykes, 1973)

Bakır-krom ergitme işleminde kullanılan Cu-% 15P ön alaşımı deoksidantının yanı sıra en çok tercih edilen diğer bir deoksidant da Cu-Ca ön alaşımıdır. Ayrıca , kalsiyum bakır içinde erimeğinden elektrik iletkenliğine olumsuz etkisi yoktur. Kalsiyum, fosfor kadar iletkenliği olumsuz yönde etkilememesinin yanında az miktarlarda kalsiyum ilavesi gevrekliğe karşı direnci arttırdığından çok iyi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte , aşırı kalsiyum ilavesi hem mekanik özellikleri hem de elektrik iletkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bir başka önemli faktör de döküm işleminde kalsiyumun inklüzyonları sıvı metalin yüzeyinde toplama eğilimidir.

Kalsiyum ergitme işleminde sıvı metale Cu-% 6.6Ca , Cu-% 4.4 Ca ön alaşımları veya kalsiyum borür şeklinde ilave edilmektedir. Deoksidasyon için yaklaşık % 0.4 kalsiyum miktarı en iyi sonuçları vermektedir. Kalsiyum borür beyaz ve siyah olmak üzere iki şekilde mevcuttur. Siyah kristal yapısında olan CaB_6 deoksidasyon için etkili olurken beyaz modifikasyonu etkili olmamaktadır. Kalsiyum borür ile sıvı metal arasındaki reaksiyon çok şiddetli meydana gelmektedir. Toz halindeki malzeme kullanılmadan önce büyük bir titizlikle kurutulmalı ve tartılarak saf bakır tüplerde muhafaza edilmelidir. Kalsiyum borürün deoksidant olarak kullanılışı sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de gösterilmektedir. (Murthy, 1984)

Çizelge 4.6 Nötr örtü altında ergitme işleminde deoksidant olarak ve kalsiyum borür kullanımı

Kalsiyum Borür	% Ca	% B	Kalıntı Oksijen %	Kalıntı Kalsiyum %	Kalıntı Bor %	X
-	-	-	0,05	-	-	3
0,019	0,007	0,012	0,04	-	0,0005	2
0,038	0,014	0,024	0,04	-	0,003	2
0,085	0,032	0,023	0,02	-	0,0048	6
0,235	0,089	0,146	Uygun	-	0,0063	6
0,478	0,182	0,296	-	-	0,012	1

Çizelge 4.7 Kalsiyum borür deoksidant kullanımı sonucu bazı özellikler (Murthy ,1984)

Döküm	Deoksidant % Ağırlıkça	Kalıntı Deoksidant	Çekme Mukavemeti KN/cm ²	% Uzama (25 mm'de)
1	0,01	-	3,45	8,5
2	0,05	-	11,75	11,6
3	0,1	-	14,6	24
4	0,2	-	17,45	31,9
5*	0,5	-	14,35	29,2
*: Deoksidant ilavesi ile döküm arasında iki dakika geçmektedir.				

İkili deoksidasyon yönteminde, oksijenin büyük bir kısmı oldukça ucuz olan Cu-% 15P deoksidantı ile bir noktaya kadar deokside edilmekte, ikinci kademede de daha pahalı bir deoksidant olan Cu-Ca, kalsiyum borür veya lityum ile deoksidasyon tamamlanmaktadır. Bu yöntemle deoksidasyon daha etkili ve ekonomik olmaktadır. Bununla birlikte, ikili deoksidasyon işleminin başarısı ilk oksijen içeriği ergitme atmosferi , sıvı metalin oksijen kapma oranı ve döküm prosesi gibi faktörlere bağlı olmaktadır.

Yapılan birçok araştırmalara göre deoksidasyon işleminde deoksidant olarak kullanılan lityum ergitme sırasında sıvı metale Ca-% 50Li , Cu-% 10 Li ön alaşımları şeklinde veya bakır tübllerle saklanan temiz, kuru saf lityum şeklinde ilave edilmektedir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi lityum çok etkili bir deoksidant olmakta ve deoksidasyon işlemine ilaveten kimyasal reaksiyonlarla yapıdaki hidrojeni, hidrat ve hidroksit şeklinde sistemden uzaklaştırmaktadır.

Çizelge 4.8 Nötr örtü altında ergitme işleminde deoksidant olarak sisteme lityum ilavesi (Murthy, 1984)

% Lityum	Kalıntı Oksijen %	Kalıntı Lityum %	X
-	0,04	-	3
0,005	0,01	-	2
0,01	uygun	0,002	5
0,025	uygun	0,005	1
0,05	uygun	0,015	1
0,1	uygun	0,065	5
0,25	uygun	0,15	3
0,5	uygun	0,312	4

Lityum reaktifliği yüksek bir element olduğundan atmosferdeki gazlarla hızla birleşmekte, oksijene karşı afinitesi yüksek olduğundan refraktif oksitleri azaltmakta ve böylece pota ile reaksiyona kolayca girmektedir. Bunu engelleyici önlemler alınmazsa refrakter astarından empüriteler sıvı metale geçerek iletkenliği düşürebilmektedirler .Lityumun diğer bir dezavantajı fiyatının çok yüksek olmasıdır. Bu yüzden önce Cu-% 15 P ön alaşımı ile sonra da Cu-% 10 Li ön alaşımı ile ikili deoksidasyon işlemleri uygun olmaktadır. Burada yine tam bir deoksidasyon için ilk oksijen miktarı ve kalıntı fosfor miktarı önemli olmaktadır. Lityum ile deoksidasyonun avantajları ise, iyi mekanik özelliklerin elde edilmesi ve kabuk kalıba dökümde gevreklik yaratmamasıdır. Lityum bakır dökümlerinde tane küçültücü olarak da görülmektedir.(Murthy, 1984)

Ayrıca magnezyum ile deoksidasyon işleminde ise magnezyum pahalı olmayan , etikli bir deoksidanttır. Sistemde kalıntı magnezyum miktarı maksimum % 0.01'dir. Bunun da elektrik iletkenliğini düşürmede azda olsa bir etkisi vardır. Magnezyum kükürt , bizmut gibi sıcak yırtılma üzerinde zararlı etkisi olan empüriteleri de kararlı halde bileşikler oluşturarak bağlamaktadır.

Yukarıda bahsedilen deneylerden de görüldüğü üzere MgO herhangi bir sorun meydana getirmemektedir. Yüzeyde inklüzyon oluşmamakta ve malzemenin elektrik iletkenliği de oldukça yüksek olmaktadır. Sigma deney cihazında elde edilen değerlere göre % 0.01-0.015 Mg kalıntı ihtiva eden malzemede elektrik iletkenliği % 98 I.A.C.S. (bakır) ve % 0.015-0.020 Mg kalıntı ihtiva eden malzemede ise % 97 I.A.C.S. (bakır) değeri sağlanmaktadır.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının dökümünde elektrolitik bakırın ergitme aşamasında gerekli olan deoksidasyon işlemleri için endüstride kullanılan çeşitli deoksidantlar değişik özellikleri ile Çizelge 4.9'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.9 Deoksidasyon işleminde kullanılan değişik deoksidantların özellikleri

		Ergime Noktası		Kayanma Noktası		%0,01 Deoksidant İçin	%0,01 O ₂ Çıkışı İçin
eoksidant	Curufta deoksidant ürünü	Deoksidant	Deoksidant Ürünü	Deoksidant	Deoksidant ürünü	%O ₂ Çıkışı	% Deoksidant
Karbon	CO	3700	Gaz	4800	Gaz	0,0133	0,0075
	CO ₂	3700	Gaz	4800	Gaz	0,0266	0,0038
Fosfor	P ₂ O ₅	50	560	280	350	0,0129	0,0077
	2Cu ₂ O.P ₂ O ₅	50	560-1080	280	-	0,0181	0,0055
Cu-%15 P	P ₂ O ₅	1010	560	1010	350	0,0019	0,0493
	2Cu ₂ O.P ₂ O ₅	1010	560-1080	1010	-	0,0027	0,0367
Bor	B ₂ O ₃	2300	460	2550	1860	0,0222	0,0045
	2Cu ₂ O.B ₂ O ₃	23000	460-1080	2550	-	0,0367	0,0027
Cu-%2 B	B ₂ O ₃	1070	460	2336	1860	0,00044	0,225
	2Cu ₂ O.B ₂ O ₃	1070	460-1080	2336	-	0,00073	0,135
Lityum	Li ₂ O	168	700	1200	-	0,01115	0,0087
Magnezyum	MgO	650	2800	1110	3600	0,0066	0,0152

Genel olarak literatürler incelendiğinde bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitilmesinde genellikle Cu-P , Cu-Ca , Cu-Li ,Cu-B veya magnezyum deoksidantları kullanılmaktadır. (Dion J.L., Raichel K. 1976)

5. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

5.1 Bakır Alaşımlarının Katılaşma Karakteristikleri

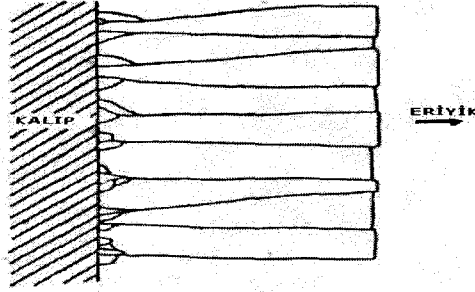
Temel bakır alaşımları kendilerine has farklı katılaşma karakteristiklerine sahiptir. Özellikle katılaşma sırasında gösterdikleri büzüşme ve gözeneklilik oranı bir dökümhanede dikkat edilmesi gereken önemli durumlardır. Bunun için besleme tekniklerine ihtiyaç duyulur. Bakır alaşımlarının katılaşma biçimindeki değişikliğin nedeni, değişik döküm metotlarının kullanılmasından da kaynaklanmaktadır. Bir dökümhanede pirinç dökümü yapıldıktan sonra yapılacak bronz dökümünden önce bir takım köklü değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Büzüşme, tane incilmesi ve segregasyon gibi döküm sırasında meydana gelebilecek olaylar bakır alaşımlarının dökümünü yapan bir dökümcünün dikkat etmesi gereken önemli durumlardır. (Ruddle, 1957)

5.2 Katılaşma Mekanizmasının Alaşımın Yapısı Üzerindeki Etkileri

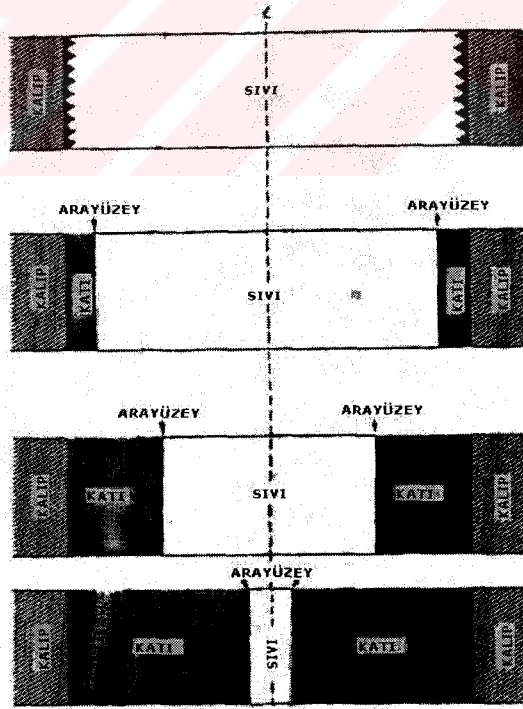
Katılaşma mekanizmaları arasındaki genel farklılıklar açısından bakır alaşımları iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplandırmaya göre serbest oksijenli yüksek iletken (OFHC) bakırı, Cu-Cr, Cu-Cr-Zr, Cu-Te, Cu-Cd, Cu-Be, Cu-Mn, Cu-Al, Cu-Si, Cu-Al-Mn, Cu-Ni alaşımları ile sarı renkli pirinç 1.grupta, Cu-Sn, Cu-Pb alaşımları ile kırmızı ve kırmızıya yakın renklerdeki pirinçler 2.grupta yer almaktadır.

Genel anlamda eriyik haldeki metal kum kalıba döküldüğünde kalıp içerisindeki ısı transferi dolayısıyla katılaşma başlayacaktır. Katılaşmanın başlangıcında öncelikle kalıba dökülen alaşımın kalıp duvarlarına yakın olan bölgeleri donma sıcaklığının altına düşecek merkeze yakın bölgeler daha sonra katılaşacaktır. İlk önce kalıp duvarlarında çekirdeklenmeler başlar ve bunu takiben kristalleşmeler olur. Kristalleşmeler kalıbın iki yanından merkezine doğru hızla gelişir ve çoğalır. Her bir kristalin büyümesi kendine komşu olan kristalle birleşme olduğu anda durur ve böylelikle taneler oluşur. Katılaşma kalıp duvarlarına dik bir biçimde ilerler.

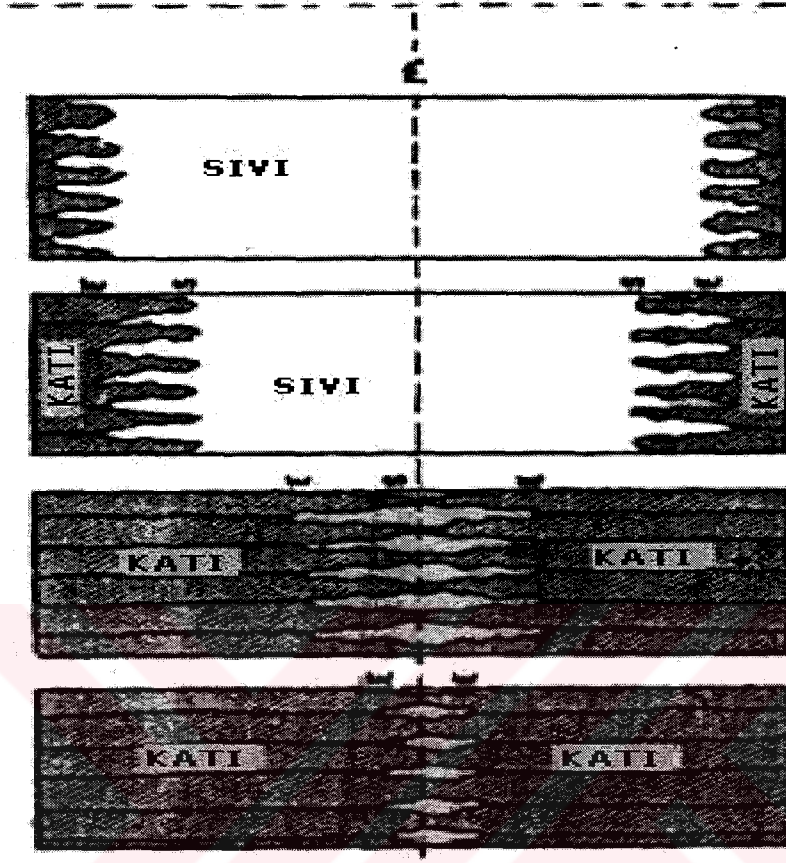
Bakır bazlı alaşımların içerisinde alaşım elementleri bulunduğu gibi bazı empüriteler de bulunabilmektedir. Katılaşma sırasında kristaller dallantılı büyüme eğilimindedir. Katılaşma sonucunda ise pürüzlü bir yüzey elde edilir. Bu tür bir yapısal bakış açısıyla malzemenin karakteristik özellikleri anlaşılabilir. Bu tür bir döküm yapısının makroyapısı incelendiğinde Şekil 5.1'deki gibi kolonsal tanelerin oluştuğu gözlenir. (American Foundrymen's Society, 1973)



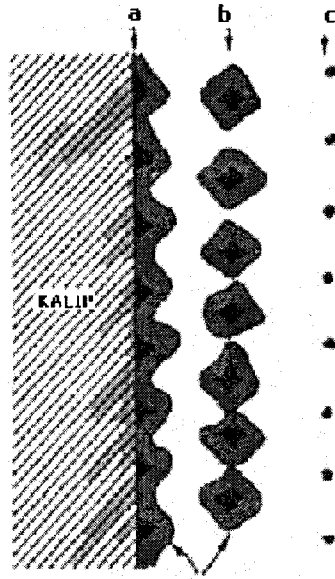
Şekil 5.1 Saf bakırın katılaşmasında kolonsal tanelerin oluşumu.



Şekil 5.2 Bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü.

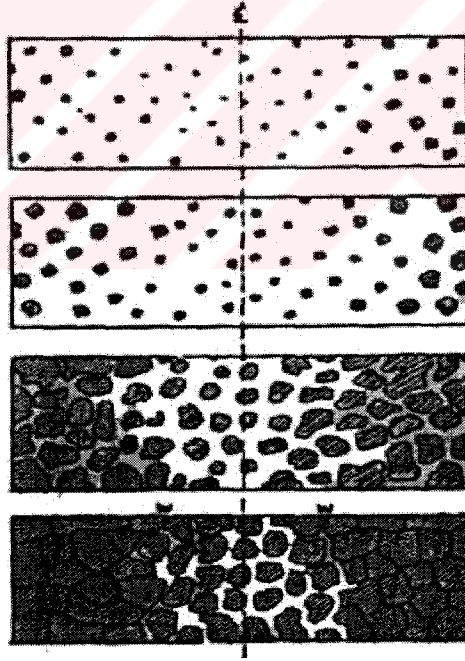


Şekil 5.3 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştıran düşük alaşımlı bakırda katılaşmanın kademelenmiş görünümü.

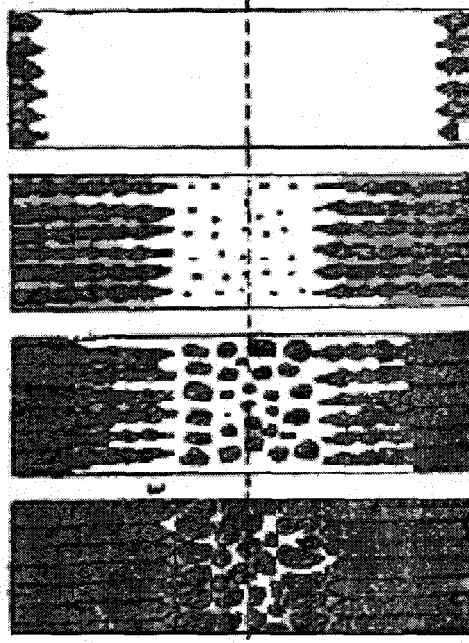


Kristallerin büyümesini
geciktiren çözünence
zenginleştirilmiş sıvı

Şekil 5.4 Yüksek alaşımlı bakırın katılaşmasının görünümü.



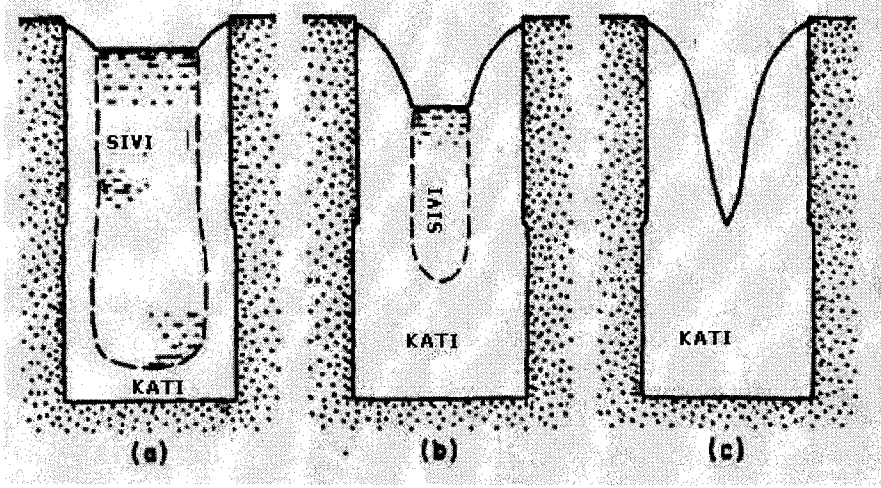
Şekil 5.5 Yüksek alaşımlı bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü.



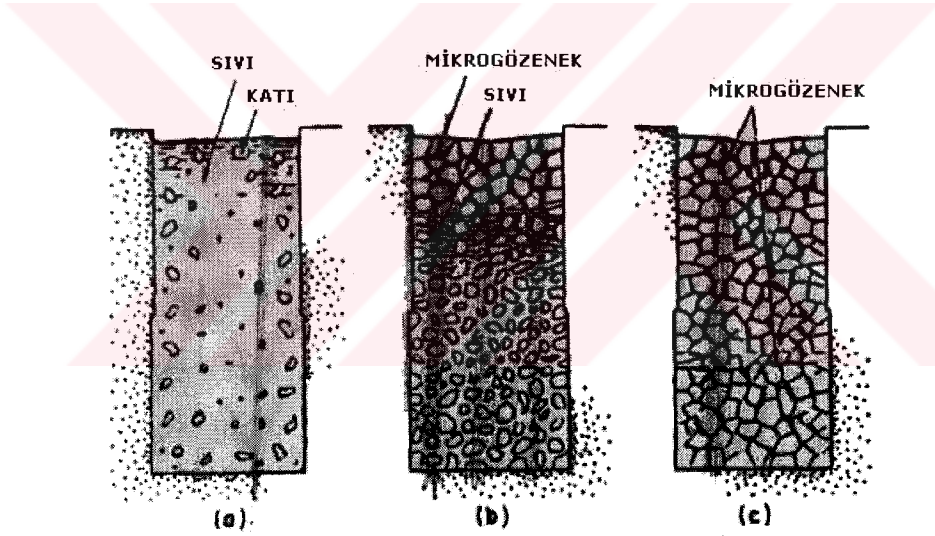
Şekil 5.6 Orta derecede alaşımlanmış bakırın katılaşmasının kademelenmiş görünümü.
(American Foundrymen's Society ,1973)

5.3 Katılaşma Mekanizmasının Büzüşme Ve Gözeneklilik Üzerindeki Etkileri

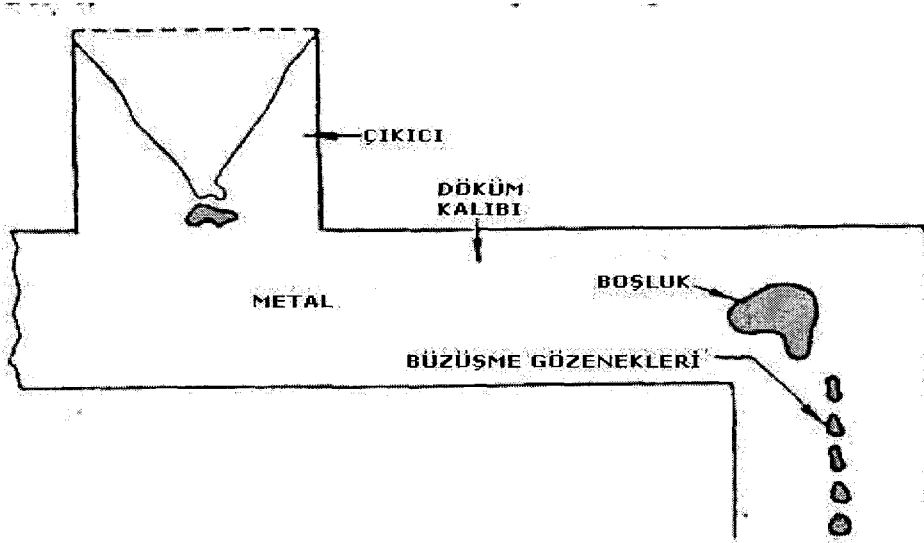
Katılaşma mekanizmasında büzüşme ve gözenekliliğin yönetiminde besleyiciler çok önemli bir yere sahiptir. Yüksek saflıktaki bakırın ve diğer arı metallerin katılaşması sırasında arayüzey kusursuz bir düzgünlükte, 1.gruba dahil olan alaşımların katılaşmasında ise arayüzey sinüsoidal bir şekildedir. Bu alaşımların katılaşma sonucunda, kalıp içerisinde kenarlardan merkeze doğru huni biçiminde bir büzüşme gösterdikleri görülür. Bu büzüşmeden dolayı eriyik, kalıbı tam olarak dolduramaz. Bu durumu engellemek için besleyici teknikleri geliştirilmiştir. Eriyik, besleyicide bulunan sıvı metalle sürekli beslenerek kalıbın tamamen dolması sağlanır.



Şekil 5.7 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştıran bakır alaşımlarının kalıp içerisinde katılaşması.



Şekil 5.8 Bakır alaşımlarında mikrogözeneklerin oluşumu.



Şekil 5.9 Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturarak katılaştan bakır alaşımlarında büzüşme olayının görünümü. (American Foundrymen's Society, 1973)

5.4 Donma Derecesinin Bakır Alaşımlarındaki Önemi

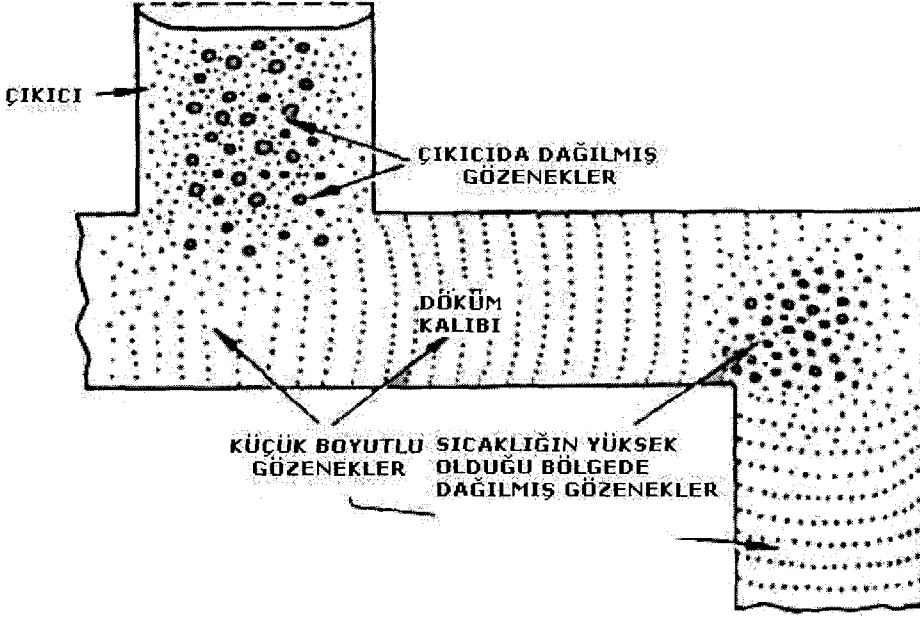
1.grup bakır alaşımları için donma derecesi, katılaşma sırasında eriyiğin etrafını çevreleyen katı kabuğun, kalıp duvarlarından itibaren kalınlaşmasından yola çıkılarak ifade edilir.

$$d = q \sqrt{t} \quad (5.1)$$

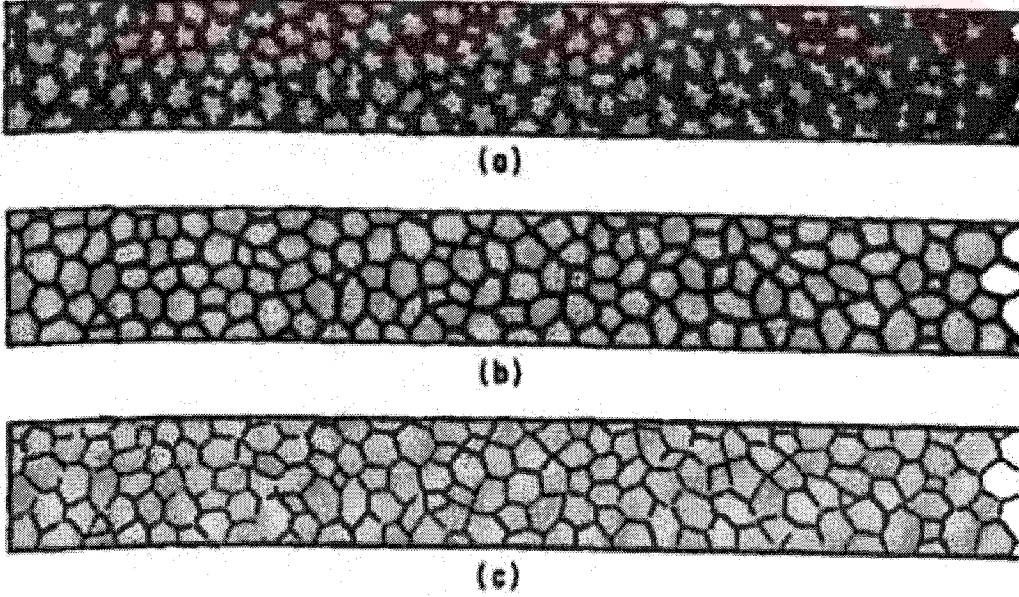
Bu formülde “d” döküm işlemi yapıldıktan “t” kadar zaman geçtikten sonra ölçülen kabuk kalınlığı, “q” ise katılaşma sabitidir. Birçok bakır alaşımının katılaşma sabiti yaklaşık olarak 0.27 inch/dakika^{1/2} dir. 2.grup bakır alaşımlarının donma derecesi, katılaşan metalin ağırlığını da içeren benzer bir denkleme sahip olmasına rağmen bu yolla ifade edilemez. Bu alaşımların donma derecesi, katılaşma tamamlanıncaya kadar geçen süre ile ilgilidir ve aşağıdaki Chrovinov kuralıyla belirlenir.

$$t = 1/q^2 (V/A)^2 \quad (5.2)$$

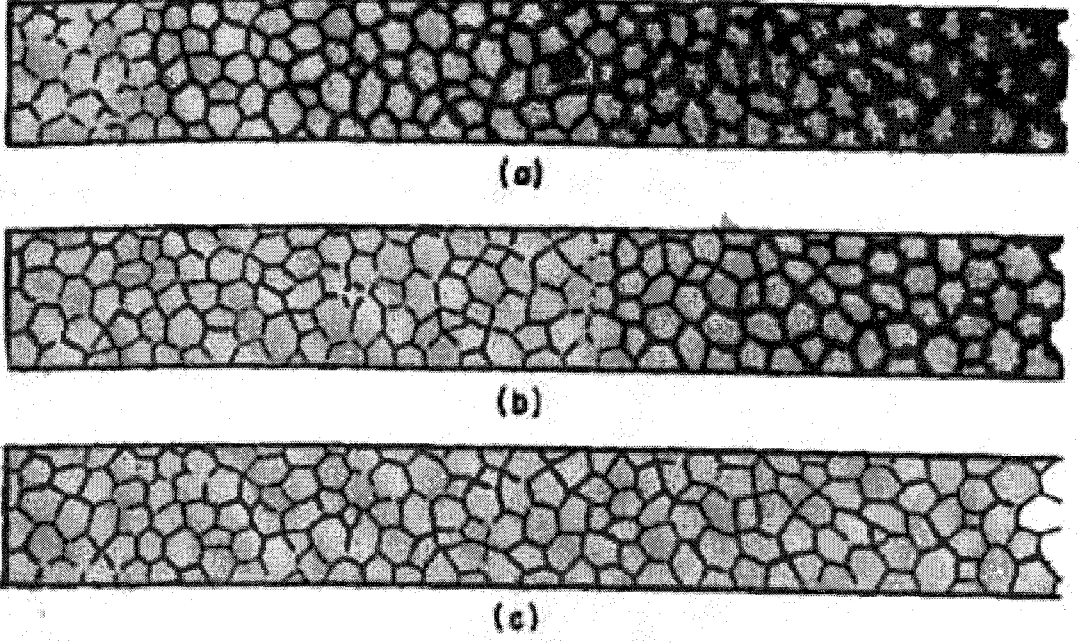
Burada V döküm parçasının hacmini, A ise yüzey alanını göstermektedir. 1/q² değeri ise yaklaşık olarak 13.7 inch/dakika^{1/2} dir. (American Foundrymen's Society)



Şekil 5.10 Yavaş soğutmayla katılaştırılmış bakır alaşımlarında büzüşme ve gözeneklerin oluşumu



Şekil 5.11 Levha şeklindeki döküm parçasının soğuk olmayan kalıpta katılaşması sonucu oluşan tanelerin görünümü.



Şekil 5.12 Levha şeklindeki döküm parçasının soğuk kalıpta katılaşması sonucu oluşan tanelerin görünümü (American Foundrymen's Society ,1973)

5.5 Besleyicinin Bakır Alaşımlarının Dökümündeki Önemi

1.grup bakır alaşımlarının dökümünde, çeliklerin dökümünde uygulanan tekniğe benzer bir besleyici tekniği uygulanır. Yolluk ve çıkıcılar yerleştirilir ve uygun bir besleyiciyle sıvı metal yönlendirilmiş bir biçimde katılaştırılır. Soğuma kontrollü bir şekilde döküm gerçekleştirilir. Yolluktan dökülen sıvı metal kalıp içerisinde çıkıcıya doğru yükselerek kalıp hacmine ulaşır, kalıbı tamamen doldurur ve katılaşma başlar. Burada kalıp duvarları katılaşmayı hızlandırıcı bir etmen olurlar. Besleyicide bulunan eriyik, katılaşma esnasındaki muhtemel büzüşmeden dolayı kalıptaki eksikliği doldurur ve kalıbın tamamen dolmasını sağlar. Ayrıca besleyicinin bir diğer görevi de eriyiğin kalıba sabit bir debi ile akmasını sağlamaktır. Pratikte yolluk ve çıkıcının boyutları, besleyicinin içinde bulundurabileceği eriyik miktarı dikkat edilmesi gereken durumlardır. Yapılacak hesaplamalarla bu boyutlar optimum hale getirilmelidir. (Ruddle, 1960)

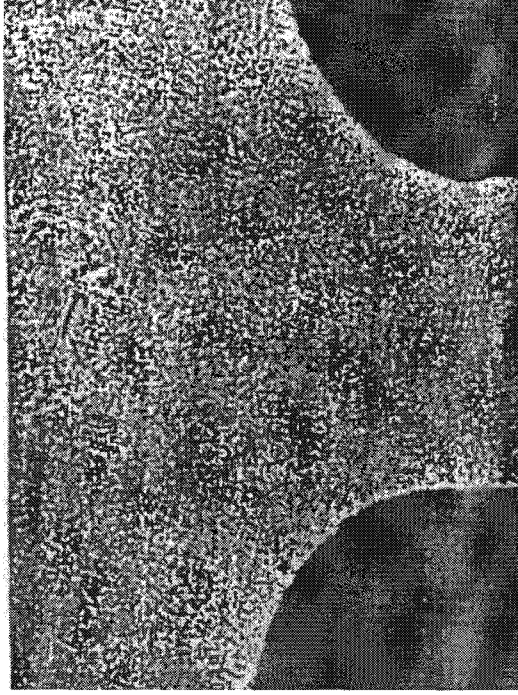
5.6 Soğuk Kalıba Döküm

Bakır alaşımlarının soğuk kalıba döküm sonucu katılaşma karakteristikleri, bazı istisnalar dışında, kum kalıba döküm sonucu elde edilen katılaşma karakteristikleriyle çoğunlukla aynıdır. Soğuk kalıba döküm işlemiyle katılaşma çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Katılaşma alanı daha büyüktür, yani katı-sıvı arayüzeyinde daha çok atom bulunur ve böylece birim zamandaki katılaşma miktarı daha fazladır. İşlem sonucunda döküm parçasının yüzeyi daha az pürüzlü ve mekanik özellikleri daha yüksektir. (American Foundrymen's Society, 1973)

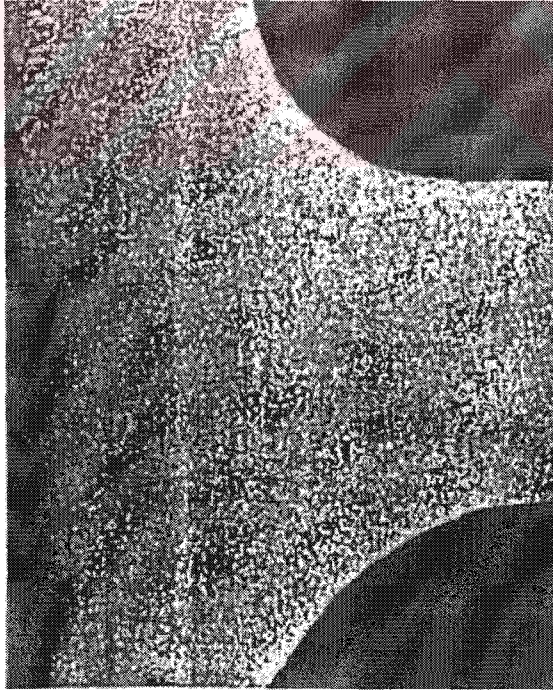
5.7 Tane İnceltmesi

Bakır alaşımlarında katılaşma sonucu elde edilen tane boyutu, katılaşma sırasında oluşan çekirdek sayısına bağlıdır. Donma sıcaklığının altına inildiğinde, kristalleşmeden önce oluşan çekirdeklerin sayısı katılaşma için çok önemlidir. Çekirdek sayısının artması, tane boyutunun küçülmesini mümkün kılmaktadır.

Tane inceltmek için uygulanan metotlar alüminyum bronz ve kırmızı pirinç için geliştirilmişken, diğer bakır alaşımları için şimdiye kadar tam kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Beta pirinçleri ve serbest demirli alüminyum alaşımlarında tane inceltmesi %0.03 zirkonyum ve %0.02 bor veya bunlara ek olarak bazı toprak alkali metallerin ilavesiyle sağlanmaktadır. Demir ilavesi birçok bakır alaşımında da tane küçültmeyi sağlamaktadır. Tane inceltmeyle, kullanılan alaşımın dayanım değerleri yükselir ve daha küçük gözenekli bir yapı elde edilir. Tane inceltme işlemiyle istenilen sonuçların elde edilmesi, iyi bir döküm ve besleyici tekniğinin uygulanmasıyla mümkün olmaktadır. Aksi takdirde tane inceltme işlemi alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Çünkü tane inceltme işlemiyle, gözenek tabakasına yayılmış ve dağınık halde bulunan mikrogözenekler dönüşüme zorlanmaktadır. Bu durum alaşımın mekanik özelliklerinin düşmesine yol açmaktadır. Mikrogözeneklerin yapıdaki dağılımına zarar verebildiği için dökümde tane yapısının kontrolü için yapılacak işlemler düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmelidir. (Cibula, 1955)



Şekil 5.13 İri taneli bakır alaşımının mikroyapısı



Şekil 5.14 İnce taneli bakır alaşımındaki gözenek tabakasının görünümü.

5.8 Segregasyon

Segregasyon, yapı içerisinde yayınan gazların çekirdeklenme merkezlerinde birikmesi olayıdır. Eriyiği çevreleyen katı kabuk oluşturmak suretiyle katılaştıran 1.grup bakır alaşımları genelde normal segregasyon gösterirler. Kum kalıba döküm işleminde nadiren oluşan segregasyon olayı ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu olay katılaştırmının son safhasında gerçekleşmektedir. Kristallerin arasından geçerek ilerleyen kabarcık şeklindeki gaz taneciklerinin zenginleştirilmiş metalin iç kısımlarına yayınmasıyla segregasyon olayı gerçekleşmektedir. Buna mikrosegregasyon denir. (Walpole, 1949)

5.9 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökülmesi Ve Yapılan İşlemler

Ergitme işleminde yapılan ön alaşım ilavesi ve deoksidasyon sonrası bakır krom alaşımları döküme hazır duruma gelmektedir. Demirin elektrik iletkenliğini olumsuz yönde etkilemesinden dolayı curuf sıyırma işlemi grafit gereçlerle yapılmalıdır. Ayrıca curuf sıyırma işlemi mümkün olduğu kadar kısa sürede tamamlanmalıdır.

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının döküm sıcaklığı 1160-1280°C arasında sınırlanmaktadır. 16 mm'e kadar olan ince kesitler için yüksek döküm sıcaklıkları, 30 mm ve üzerinde kalınlığa sahip kesitler için ise düşük döküm sıcaklıkları uygun olmaktadır.

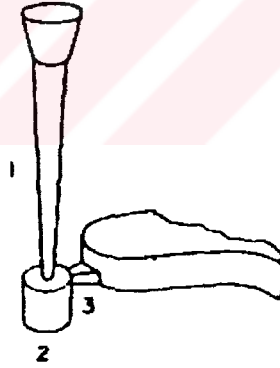
Döküm işlemi yaş veya kuru kum kalıplara yapılabilmektedir. Küçük döküm parçalarının dökümü yaş kum kalıplarla, orta ve büyük boyutlu döküm parçalarının ise dökümü kuru kum kalıplara gerçekleşmektedir. Metal ve kalıp arasında herhangi bir reaksiyonu önlemek için küçük parçaların da kuru kum kalıba dökümü uygun görülmektedir. Kalıp ve maça malzemesinin yüksek geçirgenliğin yanısıra yaş, kuru ve sıcak hallerde iyi derecede mukavemet göstermeleri, ayrıca iyi dağılabilirlik özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Özellikle % 0.4-1.0 Cr içeren bakır-krom alaşımları ile üretilen punto kaynak makinalarının kaynak uçlarının dökümünde sıcak yırtılma ortaya çıkmaktadır.

Bu parçaların dökümünde sıcak yırtılma oluşumunun tamamen önlenmesi için maçanın hızlı sıcak yüzey deformasyonundan sonra katılaştırmının ileri safhalarında dağılabilirlik özelliğinin iyi olması gerekmektedir. Sıcak yırtılma probleminde maçaların dağılabilirlik özellikleri ve döküm parçasının kesitleri ile dizaynı önemli rol oynamaktadır. (Murthy, 1984), (Kocabalkanlı, 1992)

Bakır-krom alaşımlarının dökümünde kalıplama işlemi genellikle piring ve bronz dökümlerin kalıplama işlemine benzer biçimde yapılmaktadır. Blow-hole hatalarını ortadan kaldırmak için en az 25 AFS değerinde bir gaz geçirgenliği uygun olmaktadır. Karışık şekilli parçalarda kalıp ve maça çok sert olmamalıdır. Aksi halde sıcak yırtılma gözlenebilmektedir.

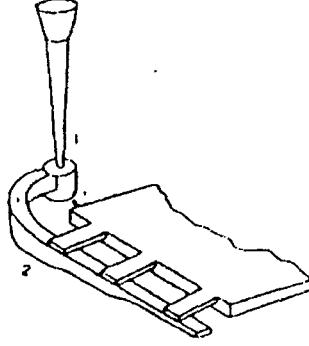
Kum kalıba döküm dışında CO₂ gazı ile oluşturulan kalıba , kabuk kalıba ve metal kokil kalıba döküm yapılabilir. Kabuk kalıba döküm işleminde fenolik reçineler kullanılmalıdır. Fenol reçine ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda eriyerek öteki gazların yanısıra hidrojen gazı içeriğini de arttırmaktadır. Yüksek mukavemet elde etmek açısından katılaşma sırasında düzenli bir yapı oluşumunu sağlayan metal kokil kalıba döküm kum kalıba dökümden daha avantajlıdır. (Murthy, 1984)

Yolluklandırma işleminde ise amaç döküm sırasında minimum türbülans sağlamaktır. Yolluk tekniği alüminyum bronzunun yolluklandırılmasına benzer bir şekildedir. Bakır krom alaşımlarının yolluklandırma işlemine ait iki sistem Şekil 5.15 ve şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.15 Tek giriş yolluğu

- Yukarıdaki şekilde ; 1. Hava kabarcıklarının oluşumunu önleyen uzun düşey yolluk
2. Derin yolluk havuzu
3. Metal akışını yavaşlatan giriş yolluğu

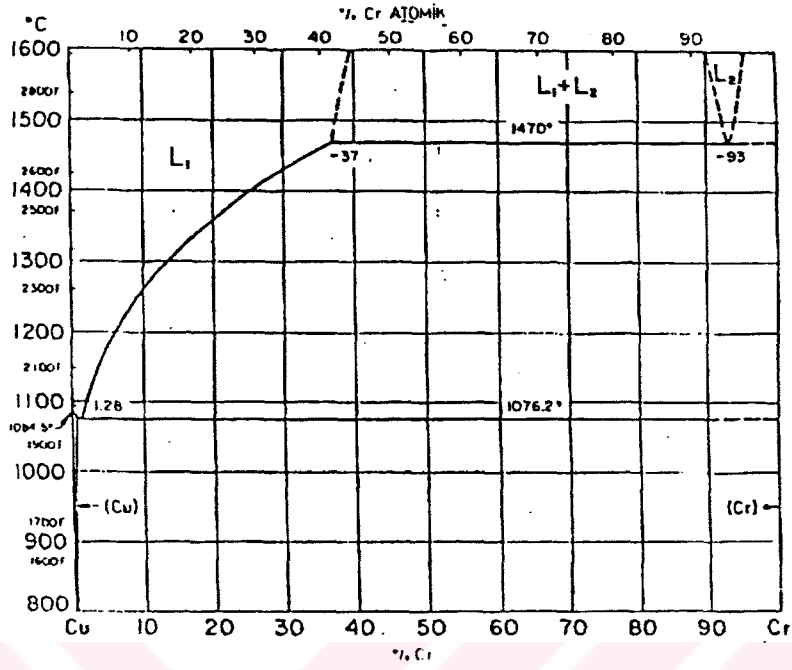


Şekil 5.16 Çok sayıda giriş yolluğu.

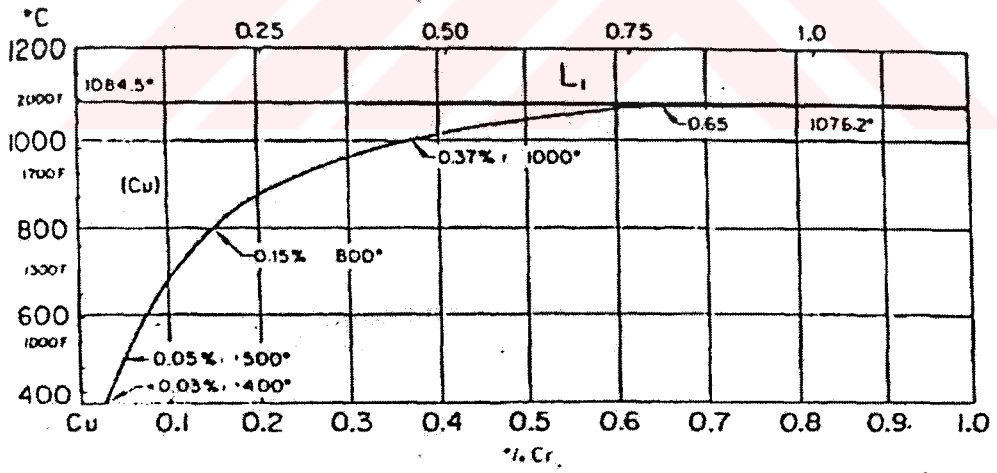
- Yukarıdaki şekilde ; 1. Hava kabarcıklarının oluşumunu önleyen uzun düşey yolluk
 2. Derin yolluk havuzu
 3. Metal akışını yavaşlatan giriş yolluğu

Şekil 5.17'de gösterilen Bakır-Krom denge diyagramından da gözlenebileceği gibi dar katılaşma aralığına sahip olmasından dolayı çekilme sorunu oluşmaktadır. Bu da besleyici kullanılarak giderilmektedir.

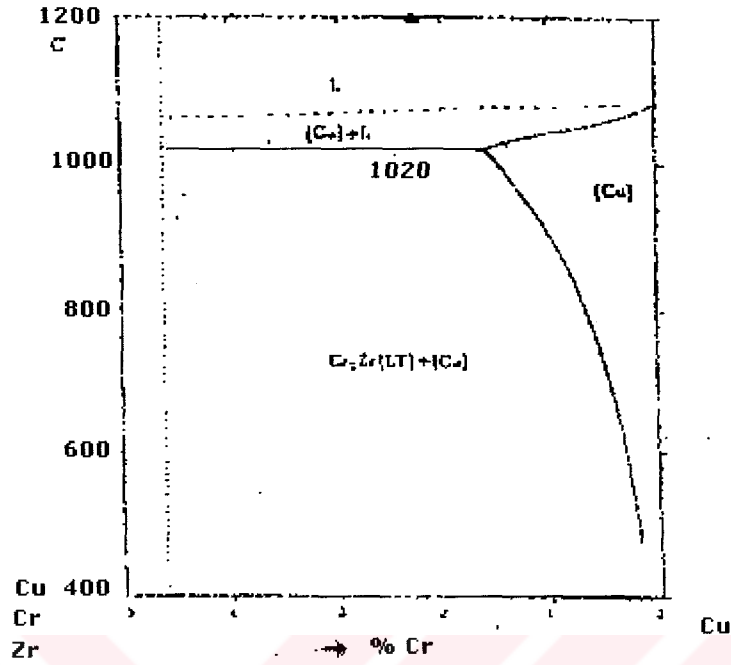
Yönlenmiş katılaşma durumunda, üstten döküm metodu uygun olmaktadır. Fakat döküm parçasının boyutu ve dizaynı üstten döküme elverişli olmadığı durumlarda çil kullanmak suretiyle alttan döküm metodu kullanmak uygun olabilmektedir. (Murthy, 1984)



Şekil 5.17 Bakır krom denge diyagramı



Şekil 5.18 Bakır krom denge diyagramının büyütülmüş kesiti



Şekil 5.19 Bakır krom zirkonyum sistemine ait faz diyagramı

Şekil 5.18'de kromun bakır içerisinde maksimum çözünürlüğünün %65 civarında olduğu görülmektedir. Bu hem çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin, hem de ısıtım işlem yapabilecek bileşimin sınırını belirtmektedir. Sisteme zirkonyum eklendiğinde faz diyagramı şekil 5.19'da görüldüğü gibi değişmektedir.

Sisteme zirkonyum eklendiğinde çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin sınırlarının daha da genişlediği ve 1020°C'de bakır içinde kromun maksimum çözünürlüğünün %1,5 olduğu görülmektedir. (Kocabalkanlı, 1992)

6. BAKIR KROM ZİRKONYUM ALAŞIMLARINDA ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

6.1 Bakır Krom Alaşımlarında Çökelme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisinin İncelenmesi

Bakır krom alaşımlarında krom oranı % 0.5 ile %1 arasında değişmektedir bu alaşımlara çökelme sertleştirilmesi işlemi uygulanırken çözeltiliye alma işlemi 980°C ile 1010°C arasında ya tuz banyosunda ya da atmosfer kontrollü fırınlarda gerçekleştirilir. Fırınlarda atmosfer kontrolü, malzemenin pul pul çatlayıp dökülmesini önlemek için yapılır. Çözeltiliye alma işlemi görmüş CuCr yumuşak ve kırılgandır bu nedenle soğuk işlenebilirliği alaşımsız bakır gibidir. (Chandler, 1992)

Sertliğin artırılması amacıyla CuCr alaşımı çözeltiliye alma işleminden sonra birkaç saat boyunca 400°C ile 500°C arasında yaşlandırılır ve böylelikle istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşılmış olur. Bakır-krom alaşımları için tipik bir yaşlandırma işlemi 455° sıcaklıkta 4 saat ve üzerinde yapılır. (Chandler, 1992)

6.2 Bakır Zirkonyum Alaşımlarında Çökelme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisinin İncelenmesi

Bakır zirkonyum alaşımlarında çökelme sertleştirilmesi bakır yüzdesi en az % 99.7 olan ve Zr oranı % 0.13 ile % 0.30 arasında değişen alaşımlarda gerçekleştirilir. Bu alaşımlarda çözeltiliye alma işlemi için 900°C ile 980°C arasında bir sıcaklığa çıkılır ve daha sonra ise soğuk şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Çökelme sertleştirilmesi için 1 ile 4 saat arasında 500-550 °C sıcaklıkta yaşlandırma işlemi yapılır. Yaşlandırma öncesi soğuk şekillendirme yapılmışsa yaşlandırma sıcaklığı 370°C ile 480°C arasına düşürülür, ancak yaşlandırma süresi yine 1 ile 4 saat arasındadır. (Chandler, 1992 ve Lyman, 1992)

Çözeltiliye alma sıcaklığı 900°C'den 980°C'e yükseltildiğinde elektriksel iletkenliğin düşüşünü önlemek için yaşlandırma sıcaklığı düşürülmelidir. Bakır- zirkonyum alaşımlarının dayanımını artırılması, özellikle soğuk işlem görmelerine bağlıdır. (Chandler, 1992)

6.3 Bakır Krom Zirkonyum Alaşımlarında Çökelti Sertleşmesi ve Sonrasında Yapı Değişimleri

Alaşımları çökelti sertleştirilmesi ile sertleştirmenin ana fikri bu malzemelere hareketlilik kazandıran ve şekil alabilmelerini sağlayan dislokasyonların bloke edilmesidir. Malzeme eğer arı metalse bu malzemeyi sertleştirmek için çökeltme sertleştirilmesi uygulanamaz çünkü çıkış kristali çözündürülmüş olan ve daha sonra dislokasyonları bloke etme görevini yüklenecek bir atom bulunmamaktadır. Metalsel bir malzemenin çökeltme sertleştirilmesi ile sertleştirilebilmesi için iki koşul sağlanmalıdır bunlardan ilki; çıkış kristalinin kısmi çözündürebilirliği olan bir karışık kristal olması ikincisi ise çıkış kristalinin çözündürebilirliğinin yükselen sıcaklıkla artıp düşen sıcaklıkla azalması gereğidir. (Vlack, 1975)

Çökeltme sertleşmesine uygun olan bileşimler fazlar dengesinde doyma eğrisinin izdüşümü içerisinde kalan bileşimlerdir. Alınan bu bölgedeki bileşim ikinci fazın tam doymun olduğu bileşimdedir ve yükselen sıcaklık ile birlikte doyma değeri birin altına düşer. Yükselen sıcaklıkla birlikte metalin ikinci fazı çözündürebilirliği artmaktadır bu durum bu ikinci fazın ana faz içinde rahatlıkla çözünmesine neden olur . Bu işleme çözeltiye alma işlemi denir ancak çözeltiye almanın üst sıcaklığı olan ötektik sıcaklık aşılmamalıdır bunu nedeni tane sınırlarında erime tehlikesi olmasıdır. Dolayısıyla çözeltiye alma tavının sıcaklık aralığı doyma sıcaklığı ile ötektik sıcaklık arasındadır. (Vlack, 1975)

Çözeltiye alma işlemi uygulanmış bir malzeme soğuma sırasında doymunluk sıcaklığından itibaren dengeli fazların ayrışmasına izin vermeyecek kadar yüksek bir hızla oda sıcaklığına soğutulacak olursa ikinci fazın atomları dengeli katılaşmadıklarından dislokasyonların deformasyona uğrattığı kafes parametresi bölgelerine yerleşirler bu sayede dislokasyonlar bloke edilmiş olur ve şekil değiştirme özelliğinin azalmasına rağmen mukavemet ve sertlik değerlerinde bir yükselme gözlenir buna yaşlanma sertleşmesi denir. (Vlack, 1975)

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları işlem kademelerine tabi tutulmadan sıcak veya soğuk işlenebilmektedirler. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ısı işlem kademeleri döküm işleminden sonra döküm parçasının ya sıcak yada soğuk işlem görmüş parçaların sırasıyla genellikle yüksek sıcaklıklarda çözeltiye alma, su verme işlemlerini takip eden belirli bir sıcaklık aralığında yaşlandırma işlemlerini kapsamaktadır. (Batra, 2002)

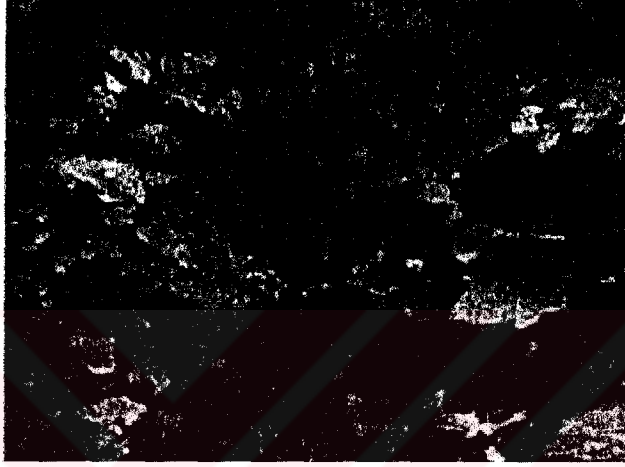
Bakır-krom-zirkonyum alaşımları genellikle 800°C-900°C arasında sıcak haddeleme görürler çünkü sıcak haddeleme sırasında 700°C'nin altında çökelme sertleşmesi meydana gelebilmektedir. Bakır-krom alaşımları böyle yüksek sıcaklıklardaki işlemlerde kırılma veya çatlak oluşumu eğilimine sahiptirler fakat dikkatli bir sıcak işlem prosesi ile bu eğilim azaltılabilmektedir. (Dudashevich, 2002)

Çözeltiyeye alma işlemi genellikle koruyucu bir atmosfer altında 400°C –600°C arasında belirli bir süre numuneleri fırında tutarak sağlanmaktadır. Yaşlandırma işleminden sonra yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu yüksek değerlerin elde edilme nedenlerinden biri krom-zirkonyum (Cr_2Zr) intermetalik bağlantısının gerçekleşmesidir. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarına uygulanan ısıtım işlem kademeleri ile yüksek mukavemet ve mekanik özelliklerin yanında iyi ısıtım ve elektrik iletkenlikleri kazandırılmaktadır. (Dudashevich, 2002)

Bakır krom zirkonyum alaşımlarının optimum özelliklerde kullanımı yaşlandırma sürelerinin ve sıcaklıklarının iyi bir şekilde seçilmesine bağlıdır. CuCrZr alaşımları için yaşlandırma sıcaklıkları 480°C-550°C arasında en yüksek mukavemeti ve istenilen değerleri vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda aşırı yaşlandırma, sertlik ve mukavemette düşme gözlemlenmektedir. (Ivanov, 2002). Bakır-krom-zirkonyum alaşımları ısıtım işleminden sonra hemen hemen saf bakırın üç katı kadar bir sertlik değerine ulaşırlar. Çok önemli bir özellik olan elektrik iletkenlikleri saf bakırla karşılaştırıldığında önemsiz ölçüde düşüktür. Endüstriyel kullanımda bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının yaşlanma süreleri ve dereceleri çok önemlidir. Yaşlanma işlemi sırasında Cr ve Cr_2Zr intermetalik bağının çökelme prosesine dikkat edilmelidir. (Ivanov, 2002)

6.4 Soğuk Deformasyonun Çökelme Sertleştirmesinde Bakır Krom Zirkonyum Alaşımına Etkileri

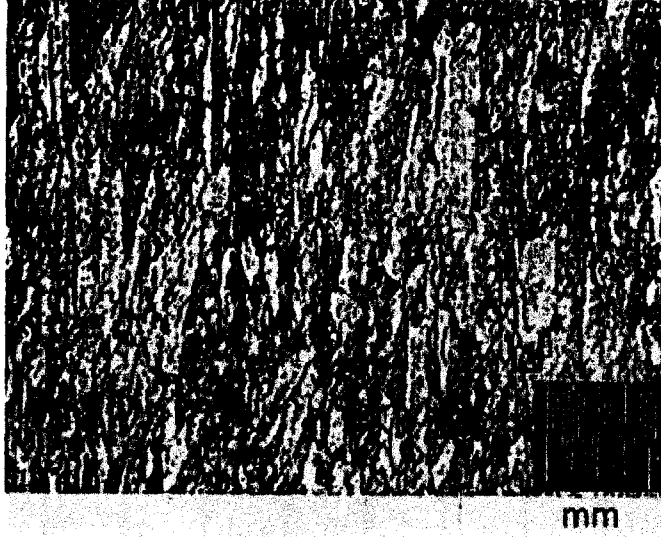
Bakır krom zirkonyum alaşımları yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikleri sayesinde elektro teknik uygulamalarda geniş uygulama imkanı bulmaktadır ayrıca otoklav elektirik ark kaynaklarında kullanılmaktadırlar.CuCrZr alaşımlarından yapılan elektrodların ömrü diğer elektrodların iki katı kadardır yani CuCr ve CuZr elektrodlarının yaptığı işin iki katını yapabilmektedirler. (Durashevich, 2002)



Şekil 6.1 CuCrZr alaşımının döküm sonrası yapı görüntüsü (Çardak, 2000)

Çözeltiye alma işlemi uygulandıktan sonra CuCrZr alaşımı homojen α -yapısına sahiptir. Yaşlandırmada çökelme sırasında Cr parçacıkları veya Cr_2Zr intermetalik bileşiği doymuş matriksten çökeler. Doymuş α karışık kristalinden çökelen ikinci fazın parçacıkları çökelme işleminde rol oynar. Bu çökelen parçacıkların boyutları, şekli ve hacim oranları sertleşme derecesini etkiler Alaşımın yumuşamasını yavaşlatmak için çökelti boyutlarının olabildiğince optimumda tutulması ve hacim oranının olabildiğince artırılması gerekir. (Durashevich, 2002)

Termomekanik prosesler CuCrZr alaşımının dayanımını arttırmak için uygulanır bu proseslerde yaşlandırma öncesi soğuk deformasyon işlemi önemlidir. Yaşlandırma sonrası soğuk deformasyon uygulamasına ise seyrek başvurulur. Yaşlandırma sırasında çökelme işlemi gerçekleşir ve sonrasında soğuk deformasyon uygulanır. İstenilen en iyi sertliğe ulaşması için termomekanik proseslerde termomekanik parametrelerin optimal olması gerekir. (Durashevich, 2002)



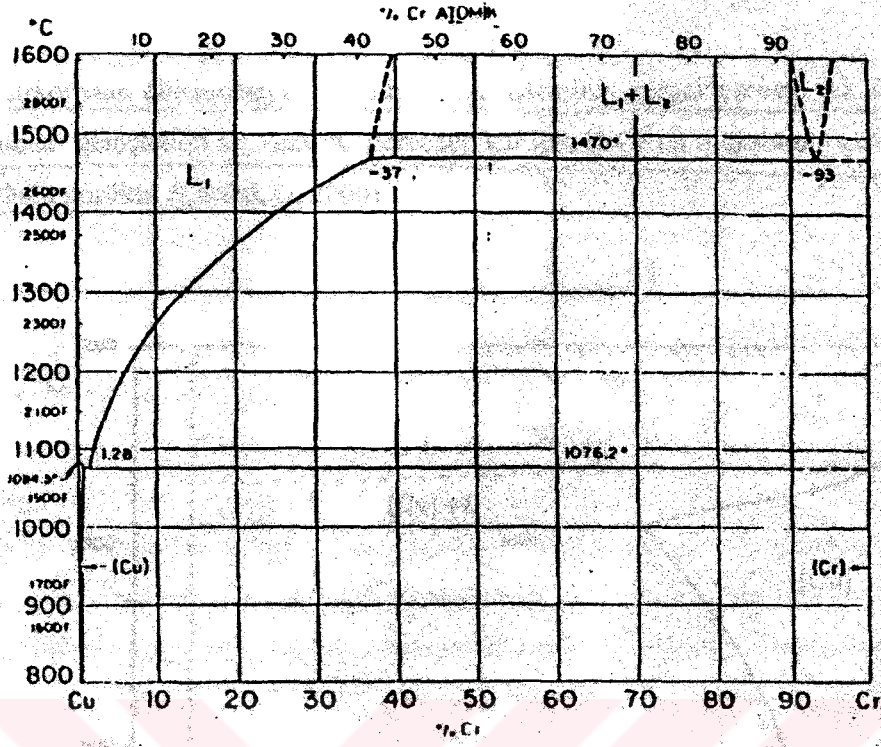
Şekil 6.2 CuCrZr alaşımasının soğuk şekillendirme sonrası yapı görüntüsü (Çardak, 2000)

Soğuk deformasyon işlemi sertleştirme mekanizmasıyla doğrudan ilişkilidir aynı zamanda çökelti boyu, şekli ve hacim oranını etkiler. Yaşlandırma öncesi soğuk şekillendirme yapılan CuCrZr alaşımında çökelen tanelerin şekli iğne yapıdan küresel yapıya doğru değişim gösterir. Soğuk şekillendirme nedeniyle çökelti parçacıklarının küresel forma geçmesi malzeme rekristalizasyon sıcaklığının üzerinde kullanılmak isteniyorsa arzu edilmeyen bir özelliktir başka bir deyişle çözeltilerin hacim oranının artması arzu edilirken ancak çökelen parçacıkların iğnesel formadan küresel forma geçmesi arzu edilmez. (Durashevich, 2002)

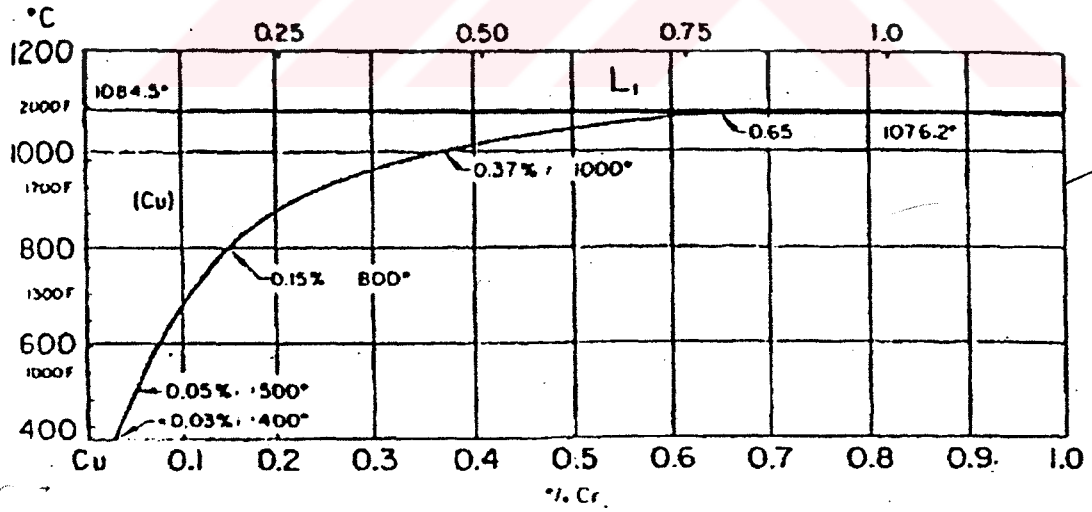
Sonuç olarak soğuk deformasyon alaşımın sertliğinin ve karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde büyük rol oynar. (Durashevich, 2002)

6.5 Zirkonyumun CuCrZr Alaşımlarında Çökelme Sertleştirmesine Etkileri

Bakır krom alaşımlarına ait faz diyagramına bakıldığında kromun (Cr) bakır içerisindeki (Cu) içerisindeki maksimum çözünürlüğü %0.65 olduğu görülür. Bu hem çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin hem de ısıtıl işlem yapılabilecek bileşimin sınırını belirlemektedir. Sisteme zirkonyum eklendiğinde faz diagramı aşağıdaki şekile dönüşmektedir.

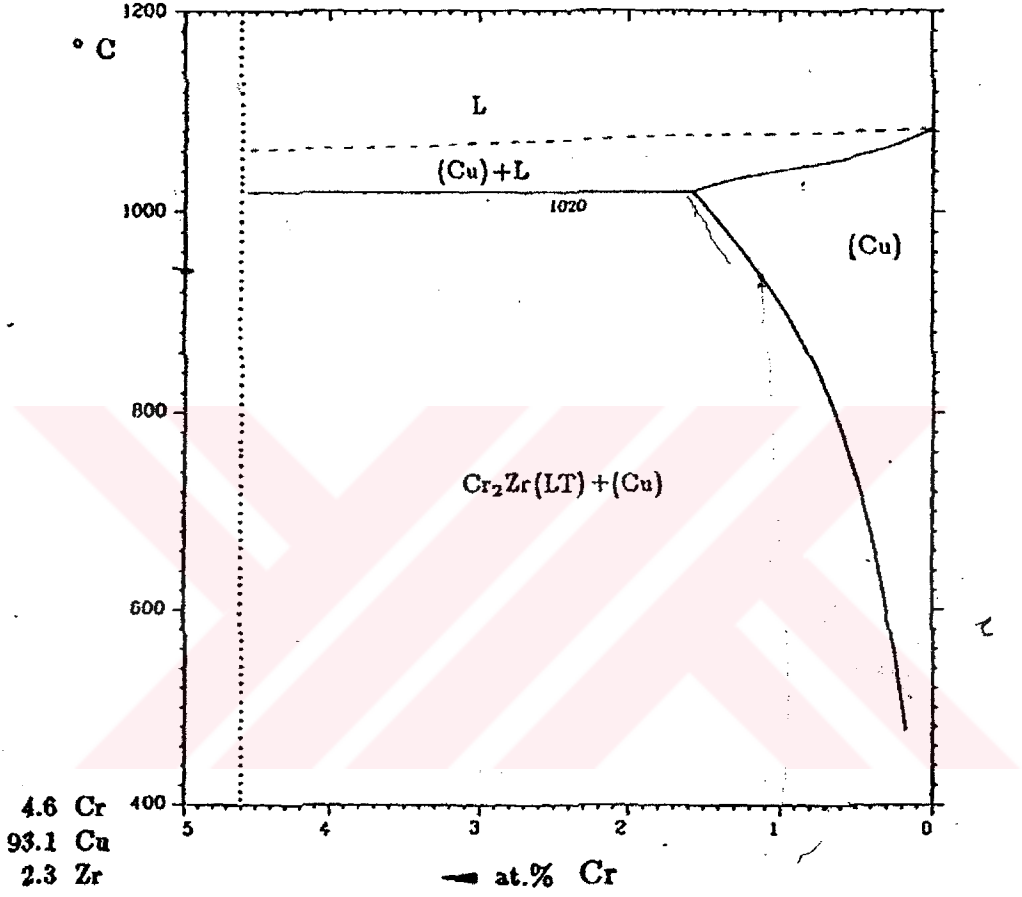


Şekil 6.3 Bakır krom denge diagramı



Şekil 6.4 CuCr faz diagramının büyütülmüş hali

Sisteme zirkonyum eklenmesiyle çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin sınırlarında genişlediği ve 1020°C'de Cu içinde Cr'un maksimum çözünürlüğünün %1.5 olduğu görülür. (Çardak, 2000)



Şekil 6.5 CuCrZr alaşımının faz diagramı

Çökelme sertleştirme sırasında oluşan çökeltilerdeki zirkonyum, Cr₂Zr şeklinde bir intermetalik bağ oluşturup mekanik özellikleri ve çekme mukavemetini olumlu yönden etkilerken elektirik iletkenliğine etkisi çok azdır.(Miller, 1954) Cr₂Zr çökeltileri tane sınırlarında ve dislokasyonlarda çökerek mekanik özellikleri arttırmaktadır. (Mihara, 1998)

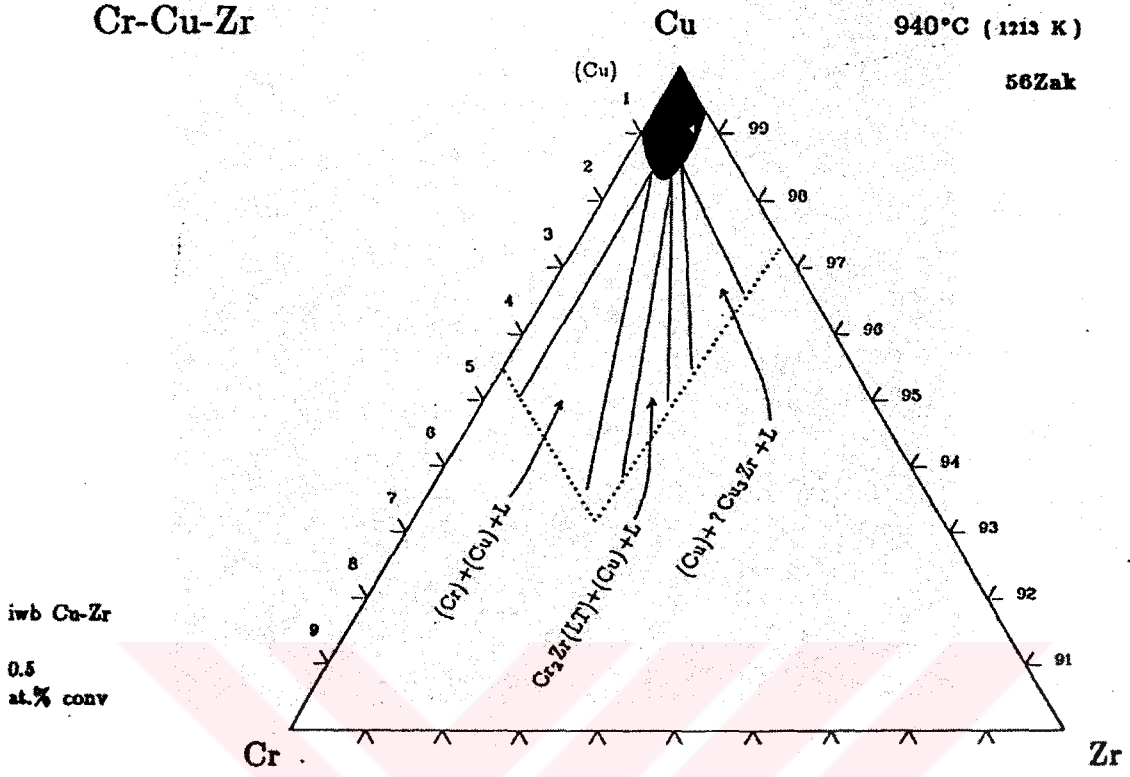
6.6 Bakır Krom Zirkonyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi Sonrası Fazların İncelenmesi

CuCrZr alaşımları mükemmel elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve korozyona karşı gösterdikleri üstün dayanımdan ve üretim kolaylıklarından ve aynı zamanda yorulma dirençlerinin yüksek olmasından dolayı bir çok uygulamada tercih sebebidir. Cu alaşımları içinde CuCrZr alaşımları yüksek mukavemetleri, ısı ve elektrik iletkenlikleri ile dikkat çeker. (Batra, 2002). Bu özellikleri sayesinde elektrik iletim hatlarında kullanıldıkları gibi kaynak elektrodu olarakda kullanılırlar.

Son dönemlerde Cu-Cr-Zr alaşımları termonükleer reaktörlerde ısı değiştirici ve soğutucu bloklarda da tercih edilmeye başlanmıştır Bu alaşımın tüm bu özelliklerinin mikro yapıları ve çökelen parçacıkların boyutu ve cinsiyle ilgili olduğu unutulmamalıdır (Batra, 2002). Krom ve zirkonyumun bakır içinde çözünürlüklerinin çok düşük olmasına karşın çökelti sertleştirilmesi sonucu çözeltiye alma işlemiyle yüksek sertlik ve mukavemet sağladıkları gözlemlenmiştir. (Lakhtin, 1971)

Bakır krom zirkonyum alaşımlarında çökelme sertleşmesi gerçekleşirken parçacık dağılım mekanizması sertliği arttıran başlıca unsurdur.. Bunun yanında mikroyapının kontrolü ve özelliklerin geliştirilmesi için optimal üretim teknikleri seçilmelidir. (Fuxiang, 2002)

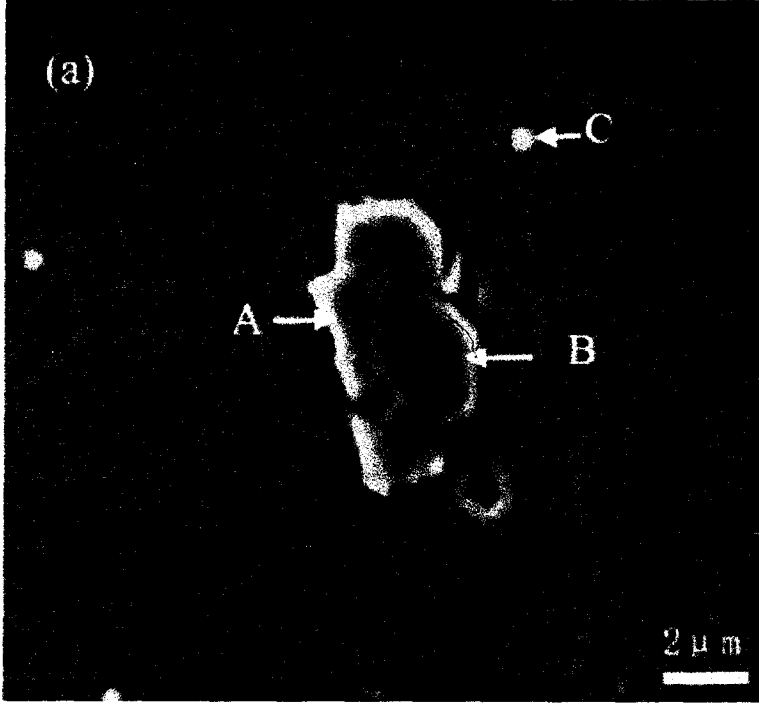
Bakır krom zirkonyum alaşımında 600°C ile 1040°C sıcaklıkları arasında fazlar incelendiğinde; 940°C'da Cu fazı, Cr fazı ve Cr₂Zr veya Cr₃Zr fazları ve bulunan sıvı faz denge halinde gözlemlenmektedir. (Fuxiang H. 2002) Cu+Cr+Cr₂Zr , Cu+Cr₂Zr+ L ve Cu+L+Cr₃Zr üçlü fazlar olarak incelendiğinde izotermal bölgede oldukları görülmüştür. (Fuxiang, 2002)



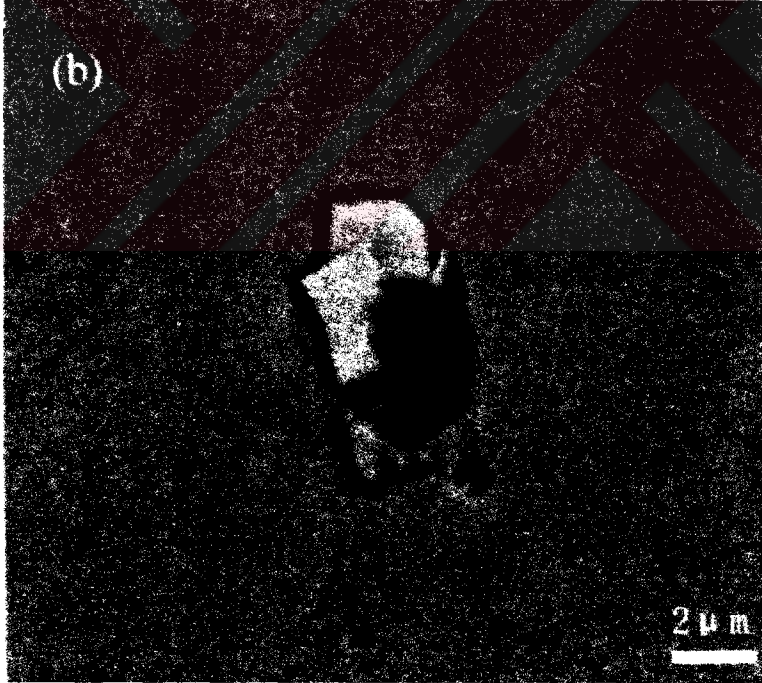
Şekil 6.6 CuCrZr alaşımının 940°C’de ki üçlü faz diagramı (Villars, 1993)

Isıl işlem sonrası tipik bir tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüsünde çökeltiler gözlemlenmek istenirse burda üç faz görünür bunlar bakır fazı, kromca zengin faz olan krom çökeltiler ve zirkonyumca zengin olan Cr_2Zr fazlardır. (Fuxiang, 2002)

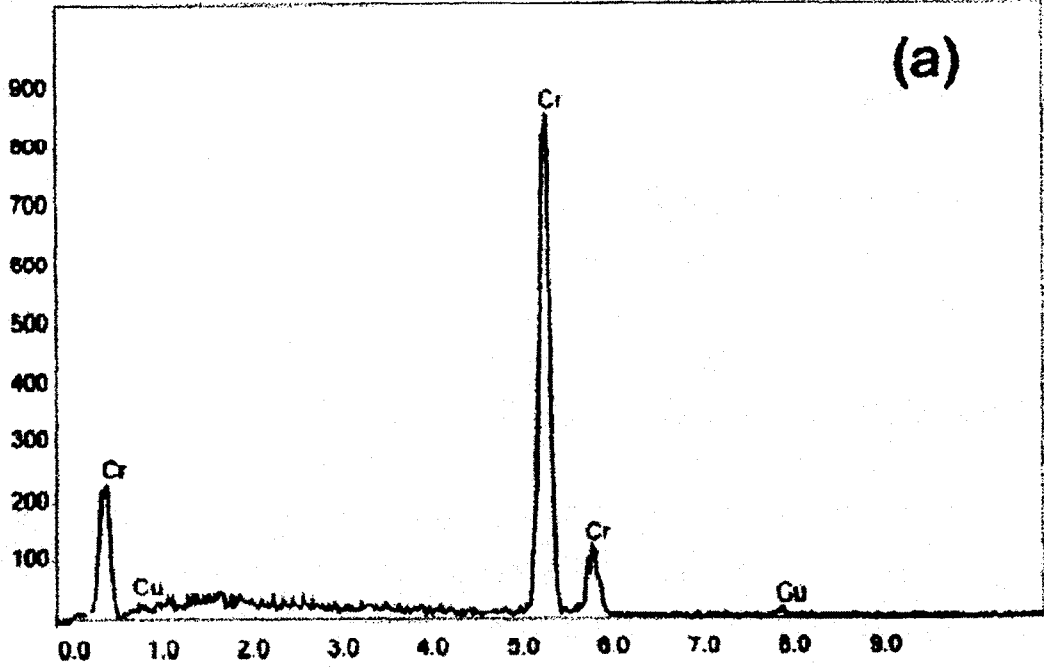
Krom çökeltileri Cr_2Zr çökeltilerine göre daha küçük ancak renk olarak daha koyudur. Zirkonyum görüntülerde açık renk ile belirtilmiştir. (Fuxiang, 2002)



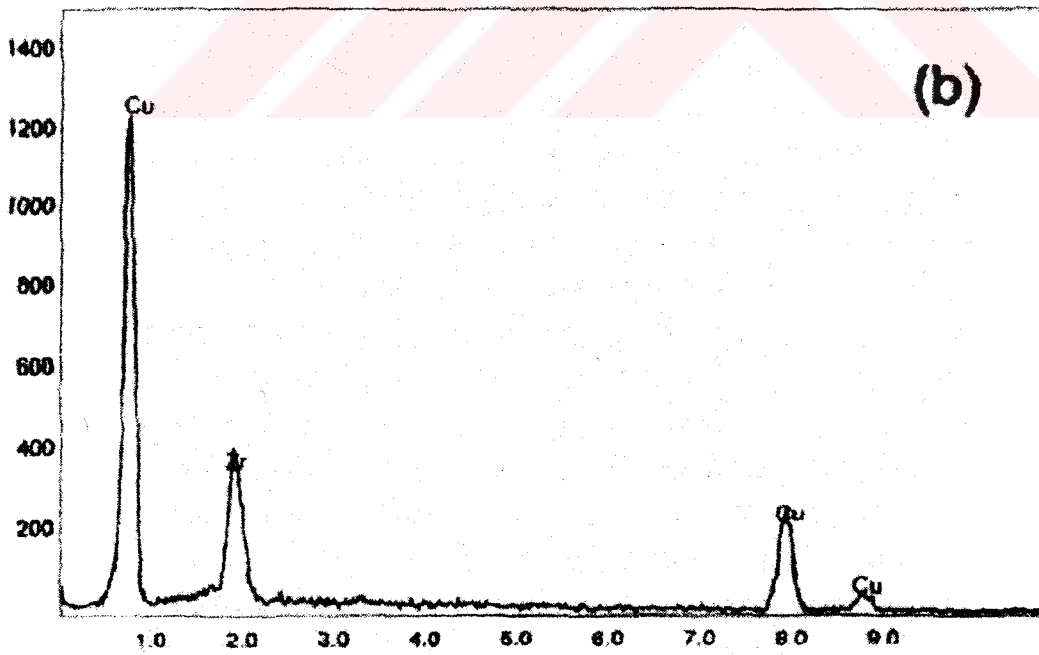
Şekil 6.7 Bakırca ve kromca zengin fazların SEM görüntüsü (Fuxiang, 2002)



Şekil 6.8 CuCrZr alaşımının SEM’de geri saçılma görüntüsü (Fuxiang, 2002)



Şekil 6.9 Kromca zengin koyu renkteki fazların EDXS analizi (Fuxiang ,2002)



Şekil 6.10 Zirkonyumca zengin açık renkli fazların EDXS analizi (Fuxiang ,2002)

6.7 Bakır Krom Zirkonyumun Isıl İşlemi Sırasında Kullanılan Fırımlar

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında çözeltiye alma işlemleri hem tuz fırınlarında hemde vakum fırınlarında gerçekleştirilebilmektedir. Tuz fırınları küçük veya orta boyutlu parçalarda kullanım kolaylığı ve daha ucuz oluşları nedeniyle tercih edilmektedirler. Tuz fırınlarında çözeltiye alma işlemi tuz banyoları içinde gerçekleşmektedir 1100°C sıcaklığa kadar yükselebilen bu fırınlarda sıcaklık fırının bağlı olduğu göstergeden okunur. Çözeltiye alma işleminin gerçekleşmesi için numuneler yüksek sıcaklığa dayanımlı özel sepetler ile tuz banyosuna daldırılır CuCrZr alaşımları için yaklaşık 1020°C sıcaklıkta çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilir. Çözeltiye alma işleminden sonra sepetler fırından çıkarılır ve su verme işlemine geçilir.(TMMOB 1998) Bu fırınlar kesintili yada sürekli çalıştırılabilir. Kesintili çalıştırılan fırınlarda her numune için ayrı sarj yapılır. (Topbaş,1992)

Vakum ısıtım işlem fırınları, içine numunelerin konulduğu bir sepeti olan ve sıcaklık zonları tespit edilmiş dökme demir tüp fırınlardır. Fırının alt ve üst kapak kısımları bakır boruların içinden su geçirilerek soğutulmaktadır. Üst kapağın altından bir bağlantı ile vakum pompasına bağlanmıştır. Çözeltiye alma işleminden sonra vakum kesildiğinde alt kapak kendiliğinden açılmakta, aynı anda üst kapakta numune sepetini tutan rezistans teline yaklaşık 2.5 amperlik bir akım verilerek tel koparılmakta ve numuneler oksidan bir atmosferle temas etmeden doğrudan doğruya alt kapakla birlikte su tankına düşmektedir. Bu işlemler vakum kesildikten 2-3 saniye içinde meydana gelir. (Çardak, 2000)

Numuneler 950°C, 1000°C ve 1050°C sıcaklıklarda yaklaşık bir saat vakumda çözeltiye alınırlar ve otomatik sistemle çözeltiye alma işlemi sonunda suda verilir. Vakum fırınlarında çözeltiye alma işleminden sonra yaşlandırma işlemleride uygulanabilir bu fırınlarda numuneler çözeltiye alınıp su verildikten sonra 470-500°C civarında vakum altında yaşlandırılırlar. (Çardak ,2000)

6.8 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Isıl İşlemlerinde ve Sonrasında Karşılaşılan Sorunlar ve Sebepleri

Çizelge 6.1 Bakır krom zirkonyum alaşımlarının ısıt işlemlerinde ve sonrasında karşılaşılan sorunlar ve sebepleri

Sorunlar	Sebepler
Malzeme sertliğinde düşüş gözleniyor	✓ Çözeltiye alma sıcaklığı düşük tutulmuştur. ✓ Yaşlandırma sıcaklığı çok yüksek ve/veya yaşlandırma süresi uzun tutulmuştur. ✓ Soğutma suyu sıcaklığı olması gerekenden daha yüksek seçilmiş. ✓ Malzeme de çökelmeyi engelleyecek bazı empüritelerin varlığı. (örneğin; Fe)
Malzemede kısmi ergimeler gözleniyor	✓ Çözeltiye alma sıcaklığı ötektik sıcaklığın üzerinde tercih edilmiştir.
Çözeltiye alma işleminden sonra malzeme yüzeyinde kabuklanmalar gözleniyor.	✓ Çözeltiye alma işleminin gerçekleştirildiği fırında atmosfer kontrolü yeterli değil.
Isıl işlem sonrasında iletkenlik değerlerinin istenilen ve beklenen değerin altında olduğu gözleniyor.	✓ Malzeme de iletkenliği düşürecek miktarda empürite vardır. ✓ Çözeltiye alma sıcaklığı gerekli olan sıcaklığın altında tutulmuştur, yani çözeltiye alma işlemi tam olarak gerçekleştirilememiştir. ✓ Yaşlandırma süresi yeterli gelmemiştir ve/veya yaşlandırma sıcaklığı olması gerekenin altındadır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bakır krom zirkonyum alaşımlarıyla yapılan deneysel çalışmalarda, bu alaşımların dökümü esnasında kullanılan örtü malzemeleri ve alaşım özelliklerine etkileri, alaşım içerisinde bulunan krom miktarının ve zirkonyum miktarının alaşımın sertliği üzerine etkileri ve bu alaşımlara uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi, bu işlem sırasında uygulanan çözeltiye alma sıcaklığının, su sıcaklıklarının, yaşlandırma sıcaklığının ve yaşlandırma süresinin malzemenin mukavemetine ve elektriksel iletkenliğine olan etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar için kullanılan bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının üretimi ve bu alaşımlara uygulanan ısıtma işlemleri BADÖKSAN Bakır Döküm Sanayi İşletmelerinde, sertlik ölçümleri, metalografik incelemeleri ve SEM fotoğraflarının çekimi Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Spektral analizler REPAMET adlı firma tarafından WAS isimli alman malı cihaz ile belirlenmiştir. Elektrik İletkenliği ölçümleri Institut Dr. Förster tarafından imal edilmiş Sigmatesti D cihazı ile Demir Makine A.Ş. de yapılmıştır.

7.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökümü Esnasında Kullanılan Örtü Malzemesinin Seçimi

Bu çalışmada birbiri ile aynı bileşime sahip üç CuCrZr alaşımının ergitilmesi ve dökümü esnasında birbirinden farklı özellikte üç ayrı örtü malzemesi kullanılmıştır. Daha sonra ise bu alaşımların analizleri vasıtasıyla kullanılan örtü malzemesine bağlı olarak Cr ve Zr kayıpları hesaplanmıştır. Bu işlemler sonucunda daha uygun olan örtü malzemesi seçimi gerçekleştirilmiştir.

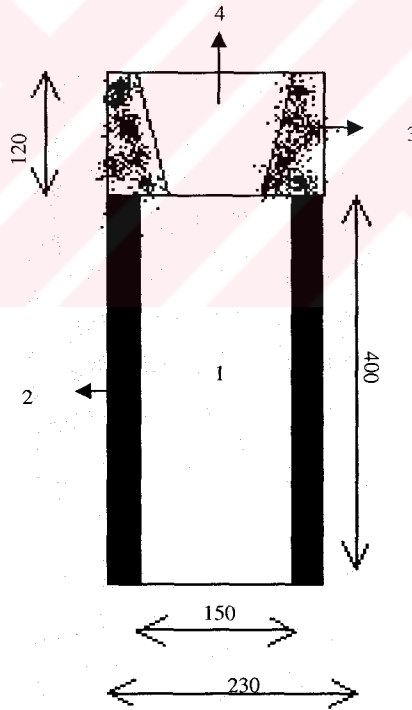
Ergitme işlemi 120kw-200kg potalı drop-drown INDUCTOTHERM induksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Grafit çubuk, temizleme kepçesi ve grafit pota kullanılmıştır. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır. Kalıbın içi ve tabanı TERRACOTE 7667 boya ile boyanarak malzeme-kalıp arasındaki difüzyon minimuma indirilmiştir.

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başlandı. Ergime başlayınca örtü malzemeleri sırasıyla ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 100kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C' e kadar çıkartıldı. Bu sıcaklıkta bakıra CuCr10 ön alaşımı ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi. Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada CuZr50 ön alaşımı ilave edilerek tekrar grafit çubuk ile karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu.

Üç değişik örtü malzemesi ile de bu işlem aynı şekilde tekrarlandı. Örtü malzemesi olarak

- Küprit (Cu_2O)
- Küprit-Kalsiyum Florür
- Boraks-Kum-Pencere Camı Kırıntısı

kullanıldı.



Şekil 7.1 Kokil kalıp ve ölçüleri

Şekilde

- 1) İş
- 2) Kokil Kalıp
- 3) Kum Besleyici
- 4) Besleyici Kısım

Küprit (Cu_2O) Kullanılarak Yapılan Ergitme İşlemi ve Sonuçları

Bu ergitme işlemi için yapılan şarj

Elektrolitik Bakır	89,650 kg
CuCr10 Ön Alaşımı	10 kg
CuZr50 Ön Alaşımı	0.350 kg
CuP15 Deoksidant	0.250 kg
Küprit	0.145 kg

Küprit miktarı hesaplanırken potanın 100 kg seviyesindeki çapının 300mm olduğu, örtü malzemesinin yoğunluğunun $2,5\text{gr}/\text{cm}^2$ olduğu ve ergiyik üzerinde 5mm kalınlık oluşturacak şekilde olması gerektiği göz önüne alınmıştır.

Bu şarj sonrasında fire olmadığı takdirde beklenen spektral analiz sonuçları:

Cu: %98.825, Cr: %1 ve Zr: %0.175 iken

Ergitme sonrası alınan numunenin spektral analizi

Cu: %99.378, Cr: %0.572 ve Zr: %0.050

Cr ve Zr kayıplarının hesaplanabilmesi için empüriteler ayrıca gösterilmemiş ve bakıra ilave edilmiştir. Sonuç olarak %42.8 Cr ve %71.4 Zr kaybı olduğu hesaplanmıştır.

Küprit- Kalsiyum Florür Kullanılarak Yapılan Ergitme İşlemi ve Sonuçları

Bu ergitme işlemi için yapılan şarj

Elektrolitik Bakır	89,650 kg
CuCr10 Ön Alaşımı	10 kg
CuZr50 Ön Alaşımı	0.350 kg
CuP15 Deoksidant	0.250 kg
Küprit-Kalsiyum Florür	0.145 kg

Küprit – Kalsiyum Florür miktarı hesaplanırken potanın 100 kg seviyesindeki çapının 300mm olduğu, örtü malzemesinin yoğunluğunun $2,5\text{gr/cm}^2$ olduğu ve ergiyik üzerinde 5mm kalınlık oluşturacak şekilde olması gerektiği göz önüne alınmıştır. Şarj sonrasında fire olmadığı takdirde beklenen spektral analiz sonuçları:

Cu: %98.825, Cr: %1 ve Zr: %0.175 iken

Ergitme sonrası alınan numunenin spektral analizi

Cu: %99.222, Cr: %0.692 ve Zr: %0.086

Cr ve Zr kayıplarının hesaplanabilmesi için empüriteler ayrıca gösterilmemiş ve bakıra ilave edilmiştir. Sonuç olarak %30.8 Cr ve %50.6 Zr kaybı olduğu hesaplanmıştır.

Boraks-Kum-Pencere Camı Kullanılarak Yapılan Ergitme İşlemi ve Sonuçları

Bu ergitme işlemi için yapılan şarj

Elektrolitik Bakır	89,650 kg
CuCr10 Ön Alaşımı	10 kg
CuZr50 Ön Alaşımı	0.350 kg
CuP15 Deoksidant	0.250 kg
Boraks-Kum-Pencere Camı	0.145 kg

Küprit miktarı hesaplanırken potanın 100 kg seviyesindeki çapının 300mm olduğu, örtü malzemesinin yoğunluğunun $2,5\text{gr/cm}^2$ olduğu ve ergiyik üzerinde 5mm kalınlık oluşturacak şekilde olması gerektiği göz önüne alınmıştır.

Bu şarj sonrasında fire olmadığı takdirde beklenen spektral analiz sonuçları:

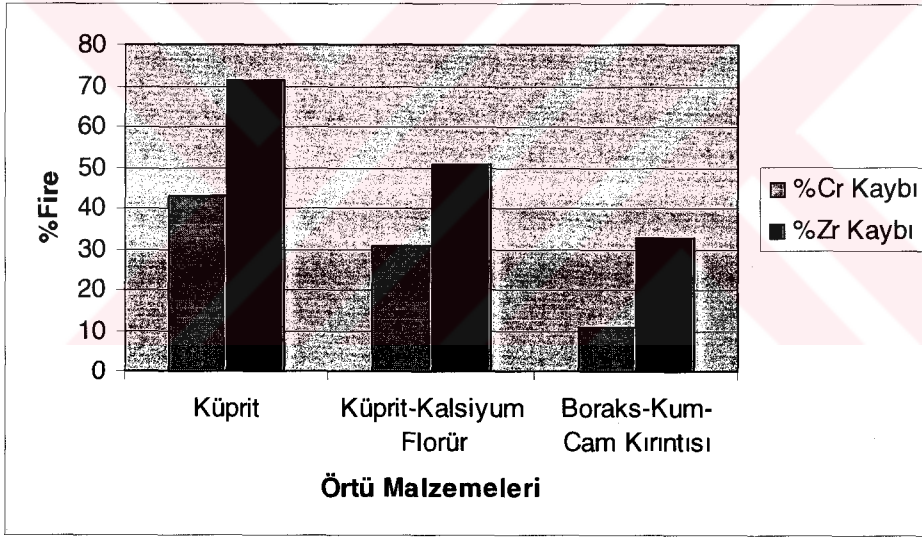
Cu: %98.25, Cr: %1 ve Zr: %0.175 iken

Ergitme sonrası alınan numunenin spektral analizi

Cu: %98.99, Cr: %0.892 ve Zr: %0.118

Cr ve Zr kayıplarının hesaplanabilmesi için empüriteler ayrıca gösterilmemiş ve bakıra ilave edilmiştir. Sonuç olarak %10.8 Cr ve %32.5 Zr kaybı olduğu hesaplanmıştır.

7.1.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Dökümü Esnasında Kullanılan Örtü Malzemesinin Seçimi Deneyinin Sonuçları



Şekil 7.2 Cr ve Zr'nin kullanılan örtü malzemelerine göre fire oranları

Yapılan deneylerde şarj hep sabit tutulmuş, aynı oranda örtü malzemeleri kullanılmış, Cr ve Zr kaybı yüzdeleri mukayeseli olarak incelenmiştir. Empüriteler bu deneyin amacının dışında olduğu için miktarları ayrıca belirtilmemiş olup Cu miktarına ilave edilmiştir.

Yapılan üç çalışma sonucunda en az Cr ve Zr kaybının Boraks-Kum-Cam Kırıntısından yapılmış olan örtü malzemesi ile olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra Küprit-Kalsiyum Florür ile yapılmış olan örtü malzemesinin pota ile reaksiyona girdiği ve potanın aşındığı görülmüştür. Boraks-Kum-Cam Kırıntısından yapılmış örtü malzemesinin iyi sonuç vermesinin nedeninin yükselen sıcaklıkla akışkan hale gelen cam ve boraksın ergiyik üzerinde iyi bir sır oluşturarak eriyiğin hava ile temasını kesmesi olarak düşünülmüştür. Ayrıca katılan kumun akışkan hale gelen cam ve boraksın kolaylıkla ergiyik üzerinden temizlenmesini sağladığı görülmüştür.

7.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Cr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Bu deneysel çalışmanın amacı, yapılan ergitmelerle farklı oranlarda Cr bulunduran alaşımların sonuçtaki mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesidir. Ergitme işlemi 120kw-200kg potalı drop-drown INDUCTOTERM indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Grafit çubuk, temizleme kepçesi ve grafit pota kullanılmıştır. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

7.2.1 Bu Çalışmada İstenilen Alaşımların Elde Edilebilmesi İçin Şarj Hesapları

- (A) → 0.5 Cr içeren CuCrZr alaşımından alınan numune
- (B) → 0.85 Cr içeren CuCrZr alaşımından alınan numune
- (C) → 1.038 Cr içeren CuCrZr alaşımından alınan numune

(A) %0.5 Cr içeren alaşımın hazırlanması:

Elde edilmek istenen kimyasal bileşim aşağıdaki gibidir.

- Zr 0,1%
- Cr 0.50 %
- Cu rest

Bu bileşimi hazırlayabilmek için elektrolitik bakır (Hurda), CuZr50 ön alaşımı ve metalik krom kullanılmıştır. Toplam şarj miktarımız 175 kg olacağına göre, 100 kg %0,5 Cr içeren elektrolitik bakırdan %30 fire ile gelecek olan krom miktarını hesaplarsak;

100 kg için	0,5 kg Cr
175 kg için	?

0.875kg Cr gerekmektedir

%30 fire ile birlikte hesap edersek $0.875 \times 1.30 = 1,1375$ kg Cr gerekmektedir.

Bu toplam Cr'un 100kg hurdadan 0.85 kg'ı geldiği göz önüne alınırsa şarja ilave edilmesi gerekecek olan saf Cr miktarı $1,1375 - 0.85 = 0.287$ kg'dır.

Toplam kullanılacak Zr miktarı için:

100 kg için	0,1 kg Zr
175 kg için	?

0,175 kg Zr gerekmektedir.

Zr için fire oranı 1:1 olduğu için gerekli olan Zr miktarı $0.175 \times 2 = 0.350$ kg olmalıdır. Kullanılan ön alaşımın kütlesi %50 Zr içerdiğine göre

100 kg için	50 kg Zr
?	0,350 kg Zr

0,700 kg CuZr50 ön alaşımı gerekmektedir.

Bu durumda şarjımız aşağıdaki şekilde olduğu gibi düzenlenmelidir;

- 174.013 kg elektrolitik bakır (hurda)
- 0.287 kg Metalik Cr
- 0.7 kg CuZr50

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başlandı. Örtü malzemesi seçiminde bir önceki deney göz önünde bulundurulmuş ve en iyi sonucu elde ettiğimiz boraks-kum-pencere camı kırığı ergime başladığında ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 175kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C'e kadar çıkartıldı. Bu sıcaklıkta bakıra metalik Cr ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi. Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada CuZr50 ön alaşımı ilave edilerek tekrar grafit çubuk ile karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1'de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

(B) %0.85 Cr içeren alaşımın hazırlanması:

Elde edilmek istenen kimyasal bileşim aşağıdaki gibidir.

- Zr 0,1%
- Cr 0.850 %
- Cu rest

Bu bileşimi hazırlayabilmek için elektrolitik bakır (Hurda), CuZr50 ön alaşımı ve metalik krom kullanılmıştır.

Toplam şarj miktarımız 175 kg olacağına göre, 100 kg %0,85 Cr içeren elektrolitik bakırdan %30 fire ile gelecek olan krom miktarını hesaplarsak;

100 kg için	0,85 kg Cr
175 kg için	?

1.487 kg Cr gerekmektedir

%30 fire ile birlikte hesap edersek $1.487 \times 1.30 = 1,933$ kg Cr gerekmektedir.

Bu toplam Cr'un 100kg hurdadan 0.85 kg'ı geldiği göz önüne alınırsa şarja ilave edilmesi gerekecek olan saf Cr miktarı $1,933 - 0.85 = 1.083$ kg'dır.

Toplam kullanılacak Zr miktarı için:

100 kg için 0,1 kg Zr

175 kg için ?

0,175 kg Zr gerekmektedir.

Zr için fire oranı 1:1 olduğu için gerekli olan Zr miktarı $0.175 \times 2 = 0.350 \text{ kg}$ olmalıdır. Kullanılan ön alaşımın kütlesi %50 Zr içerdiğine göre

100 kg için 50 kg Zr

? 0,350 kg Zr

0,700 kg CuZr50 ön alaşımı gerekmektedir.

Bu durumda şarjımız aşağıdaki şekilde olduğu gibi düzenlenmelidir;

- 173.217 kg elektrolitik bakır (hurda)
- 1.083 kg Metalik Cr
- 0.7 kg CuZr50

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başlandı. Örtü malzemesi seçiminde bir önceki deney göz önünde bulundurulmuş ve en iyi sonucu elde ettiğimiz boraks-kum-pencere camı kırığı ergime başladığında ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 175kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C 'e kadar çıkartıldı. Bu sıcaklıkta bakıra metalik Cr ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi.

Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada CuZr50 ön alaşımı ilave edilerek tekrar grafit çubuk ile karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

(C) %1.04 Cr içeren alaşımın hazırlanması:

Elde edilmek istenen kimyasal bileşim aşağıdaki gibidir.

- Zr 0,1 %
- Cr 1,04 %
- Cu rest

Bu bileşimi hazırlayabilmek için elektrolitik bakır (Hurda), CuZr50 ön alaşımı ve metalik krom kullanılmıştır.

Toplam şarj miktarımız 175 kg olacağına göre, 100 kg %0,85 Cr içeren elektrolitik bakırdan %30 fire ile gelecek olan krom miktarını hesaplarsak;

100 kg için 1,04 kg Cr

175 kg için ?

1.8169 kg Cr gerekmektedir

%30 fire ile birlikte hesap edersek $1.8169 \times 1.30 = 2.365$ kg Cr gerekmektedir.

Bu toplam Cr’un 100kg hurdadan 0.85 kg’ı geldiği göz önüne alınırsa şarja ilave edilmesi gereken saf Cr miktarı $2.365 - 0.85 = 1.515$ kg’dır.

Toplam kullanılacak Zr miktarı için:

100 kg için 0,1 kg Zr

175 kg için ?

0,175 kg Zr gerekmektedir.

Zr için fire oranı 1:1 olduğu için gerekli olan Zr miktarı $0.175 \times 2 = 0.350 \text{ kg}$ olmalıdır. Kullanılan ön alaşımanın kütlesi %50 Zr içerdiğine göre

100 kg için	50 kg Zr
?	0,350 kg Zr

0,700 kg CuZr50 ön alaşımı gerekmektedir.

Bu durumda şarjımız aşağıdaki şekilde olduğu gibi düzenlenmelidir;

- 172.785 kg elektrolitik bakır (hurda)
- 1.515 kg Metalik Cr
- 0.7 kg CuZr50

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başlandı. Örtü malzemesi seçiminde bir önceki deney göz önünde bulundurulmuş ve en iyi sonucu elde ettiğimiz boraks-kum-pencere camı kırığı ergime başladığında ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 175 kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C e kadar çıkartıldı. Bu sıcaklıkta bakıra metalik Cr ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi. Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada CuZr50 ön alaşımı ilave edilerek tekrar grafit çubuk ile karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

7.2.2 (A), (B) ve (C) Numunelerinin Spektral Analiz Sonuçları

Hazırlanan numunelerin spektral analizleri Alman WAS ile yapılmıştır.

Çizelge 7.1 Hazırlanan alaşımların spektral analizleri

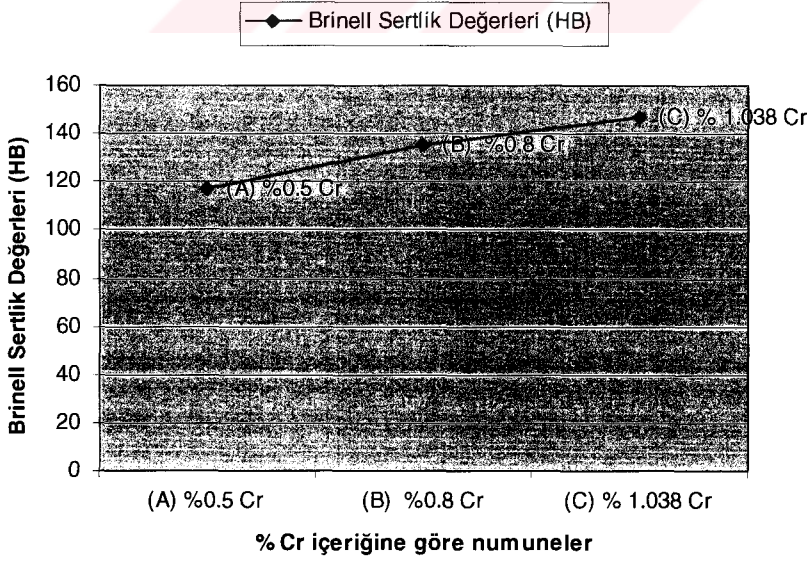
	(A)	(B)	(C)
Cu	99.044	99.032	98.75
Sn	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	<0.005	0.014	<0.005
Pb	0.006	0.003	<0.001
Fe	<0.001	<0.001	<0.001
Ni	0.021	0.060	0.044
Al	0.003	0.004	0.023
Si	0.006	0.020	0.033
Mn	0.010	0.004	0.014
Be	0.002	0.003	0.001
Co	<0.001	0.013	-
Cr	0.476	0.764	1.038
Mg	0.002	0.001	0.002
Zr	0.093	0.091	0.091

7.2.3 (A), (B) ve (C) Numunelerinin Brinell Sertlik Değerleri

Spektral analizlerinden sonra alınan numuneler 1018°C’ de çözeltiye alınmış, 16°C’ de suda soğutulmuş, daha sonra ise 470°C’ de yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem kriterleri yani çözeltiye alma sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresi ise yapılan ısıl işlem deneyleri sonucunda seçilmiştir. Bu deneyler daha sonraki bölümlerde anlatılacaklardır. Alaşımından alınan numunelerin Brinell sertlik ölçümleri sırasında uygulanan yük 62.5kp ve kullanılan bilya çapı 2.5mm’dir. Şekil 7.2’den de görüldüğü gibi sertlik değerleri artan krom miktarı ile artış göstermektedir.

Çizelge 7.2 Hazırlanan aşımların Brinell Sertlik değeri

	Brinell Sertlik Değerleri (HB)
(A)	117
(B)	135
(C)	147



Şekil 7.3 Cr içeriğine göre sertlik değeri

7.2.4 (A), (B), ve (C) Numunelerinin Metalografik İncelemeleri

Bakır krom zirkonyum (CuCrZr) alaşımının metalografik inceleme için hazırlanması esnasında zımparalama işleminde kolaylık sağlamak için sıcak olarak monte işlemi uygulanmıştır. Daha sonra yaşlandırma işlemi sırasında üzerinde oluşan tufal tabakası giderilmiştir. Bakır krom zirkonyum alaşımı her ne kadar çökelme sertleştirilmesi işlemine tabi tutulmuş olsa da yumuşak bir malzemedir ve sıvama yapma eğilimindedir bu nedenle tüm metalografik uygulamaları sırasında zımpara işlemi elle yapılmalıdır ve zımparalama işlemi sırasında numuneden kopan parçacıkların kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi için sulu zımpara yapılmıştır.

Zımparalama işlemine sulu ortamda 120 meşlik zımpara ile başlanmıştır daha sonra zımpara giderek 180, 240,320,400,600, 800, 1000 ve 4000'lik meşlere kadar inceltilmiştir. Zımparalama işlemi sona erdikten sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Bu parlatma işlemi otomatik parlatma makinasında yapılmıştır ve parlatma için iki farklı parlatma diskinde Al_2O_3 alumina ve elmas pasta kullanılmıştır. İlk önce alumina ile parlatılan numuneler daha sonra 15 μm ' lik elmas pasta ile otomatik parlatma diskinde parlatılmıştır.

Parlatma işleminden sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Aşağıda içeriği verilmiş dağlama ayırıcı ile yaklaşık 30 ile 35 saniye arasında dağlama yapılmıştır. Yapının daha iyi gözlemlenebilmesi ve görüntünün iyi çıkması için dağlama öncesi ayıraca 2 damla HCl damlatılmıştır.

Çizelge 7.3 CuCrZr Alaşımlarında kullanılan dağlama ayırıcı özellikleri ve uygulama şartları

Dağlama Ayırıcı	Uygulama Şartları	Kullanılan Alaşımlar
80 ml. Distile su 5 ml. H_2SO_4 1.84 10 gr. $K_2Cr_7O_7$	Kullanmadan hemen önce 2 damla HCl 1.19 kullanılarak 3 ile 30 saniye boyunca	Pirinçler, Cu-Cr alaşımları, α -bronzları, beyaz bakır,Cu-Ni, Cu-Mn ve Cu-Si alaşımları

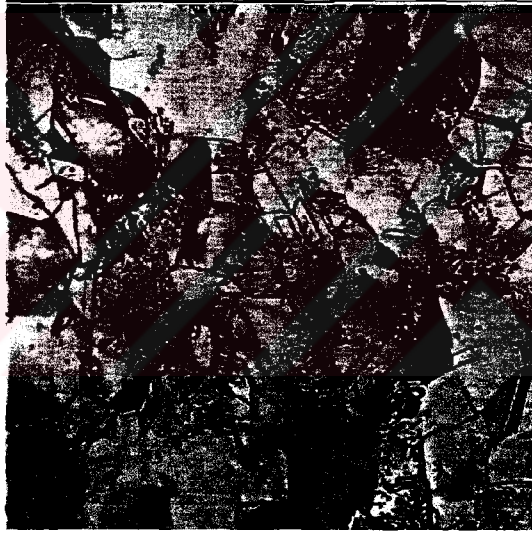
Bünye görüntüleri ışık metal mikroskobunda 100x büyütme ile incelenmiştir.



(A)



(B)



(C)

Şekil 7.4 (A), (B) ve (C) numunelerinin 100x büyütme ışık metal mikroskobundaki görüntüleri

Şekil 7.4'ten de görüldüğü gibi (A) numunesinin mikroyapısı arı Cu'a çok benzer bir özellik sergilemektedir. Taneler çok iri ve çökelti miktarı yok denecek kadar azdır.

(B) numunesinin mikro yapısına baktığımızda ise artan krom miktarına bağlı olarak tanelerin küçülmeye başladıkları ve (A) numunesine nazaran daha fazla çökelti olduğu gözlenmektedir. (C) numunesine baktığımızda ise çökelti miktarının (A) ve (B) numunelerine göre daha fazla olduğu ve tane boyutunun küçüldüğü görülmektedir. Çökelti homojen bir şekilde yapı içerisinde dağılmıştır. Bu da numunenin sertliğinin diğerlerine nazaran daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

7.2.5 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Cr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları

Çizelge 7.2 ve şekil 7.3'ten de kolayca görüleceği üzere alaşım içerisinde bulunan Cr miktarının artışına bağlı olarak sertlik değerlerinde bir yükselme gözlenmektedir. (A) numunesinin (şekil 7.4) hem ışık metal mikroskobu altındaki görüntüsü hem de sertlik değeri arı bakır ile neredeyse aynıdır. Artan Cr miktarına bağlı olarak (B) numunesinde tane boyutu küçülmüş çökelti miktarı artmış ve sertlik değerleri yükselmiştir. (C) numunesinde en yüksek sertlik değerine ulaşılmıştır. Işık metal mikroskobundaki görüntüsüne bakıldığında tane boyutu diğer iki numuneye göre muazzam bir küçülme göstermiş, yapı içerisinde çökelti homojen bir şekilde dağılmış ve yapı içerisine alınmış olan çökelti miktarı daha fazladır. Bu durum dislokasyonların bloke edilmesinde önemli bir rol oynar ve sertlik değerlerinde artışa neden olur.

7.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Zr Oranının Değişiminin Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Bu deneysel çalışmanın amacı, yapılan ergitmelerle bakır-krom alaşımlarına Zr ilavesi ile meydana gelen sertlik değişimlerinin farklı sıcaklıklar altında incelenmesidir.. Ergitme işlemi 120kw-200kg potalı drop-drown INDUCTOTHERM indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Grafit çubuk, temizleme kepçesi ve grafit pota kullanılmıştır. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1'de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

7.3.1 Bu Çalışmada İstenilen Alaşımların Elde Edilebilmesi İçin Şarj Hesapları (C) %0.1 Zr içeren alaşımın hazırlanması:

Elde edilmek istenen kimyasal bileşim aşağıdaki gibidir.

- Zr 0,1 %
- Cr 1,04 %
- Cu rest

Bu bileşimi hazırlayabilmek için elektrolitik bakır (Hurda), CuZr50 ön alaşımı ve metalik krom kullanılmıştır. Toplam şarj miktarımız 175 kg olacağına göre, 100 kg %0,85 Cr içeren elektrolitik bakırdan %30 fire ile gelecek olan krom miktarını hesaplarsak;

100 kg için	1,04 kg Cr
175 kg için	?

1.8169 kg Cr gerekmektedir

%30 fire ile birlikte hesap edersek $1.8169 \times 1.30 = 2.365$ kg Cr gerekmektedir.

Bu toplam Cr'un 100kg hurdadan 0.85 kg'ı geldiği göz önüne alınırsa şarja ilave edilmesi gerekecek olan saf Cr miktarı $2.365 - 0.85 = 1.515$ kg'dır.

Toplam kullanılacak Zr miktarı için:

100 kg için	0,1 kg Zr
175 kg için	?

0,175 kg Zr gerekmektedir.

Zr için fire oranı 1:1 olduğu için gerekli olan Zr miktarı $0.175 \times 2 = 0.350 \text{ kg}$ olmalıdır. Kullanılan ön alaşımın kütlesi %50 Zr içerdiğine göre

100 kg için	50 kg Zr
?	0,350 kg Zr

0,700 kg CuZr50 ön alaşımı gerekmektedir.

Bu durumda şarjımız aşağıdaki şekilde olduğu gibi düzenlenmelidir;

- 172.785 kg elektrolitik bakır (hurda)
- 1.515 kg Metalik Cr
- 0.7 kg CuZr50

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başladı. Örtü malzemesi seçiminde bir önceki deney göz önünde bulundurulmuş ve en iyi sonucu elde ettiğimiz boraks-kum-pencere camı kırığı ergime başladığında ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 175kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C e kadar çıkartıldı. Bu sıcaklıkta bakıra metalik Cr ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi. Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada CuZr50 ön alaşımı ilave edilerek tekrar grafit çubuk ile karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

(D) %0 Zr içeren alaşımın hazırlanması:

Elde edilmek istenen kimyasal bileşim aşağıdaki gibidir.

- Zr 0%
- Cr 1,04 %
- Cu geri kalan kısım

Bu bileşimi hazırlayabilmek için elektrolitik bakır (Hurda), ve metalik krom kullanılmıştır.

Toplam şarj miktarımız 175 kg olacağına göre, 100 kg %0,85 Cr içeren elektrolitik bakırdan %30 fire ile gelecek olan krom miktarını hesaplarsak;

100 kg için 1,04 kg Cr

175 kg için ?

1.8169 kg Cr gerekmektedir

%30 fire ile birlikte hesap edersek $1.8169 \times 1.30 = 2.365$ kg Cr gerekmektedir.

Bu toplam Cr'un 100kg hurdadan 0.85 kg'ı geldiği göz önüne alınırsa şarja ilave edilmesi gereken saf Cr miktarı $2.365 - 0.85 = 1.515$ kg'dır.

Bu durumda şarjımız aşağıdaki şekilde olduğu gibi düzenlenmelidir;

- 173.485 kg elektrolitik bakır (hurda)
- 1.515 kg Metalik Cr

Ergitme işlemine potaya elektrolitik bakırın konulması ile başladı. Örtü malzemesi seçiminde bir önceki deney göz önünde bulundurulmuş ve en iyi sonucu elde ettiğimiz boraks-kum-pencere camı kırığı ergime başladığında ilave edildi. Tüm bakır örtü malzemesi altında ergitildi ve şarjlar 175kg olacak şekilde ayarlandı. Ergitme işlemi esnasında sıcaklık 1300°C'e kadar çıkartıldı.

Bu sıcaklıkta bakıra metalik Cr ilave edildi, ergime tamamlandıktan sonra grafit çubuk vasıtasıyla karıştırıldı ve CuP15 ilavesi ile deoksidasyon gerçekleştirildi. Temizleme kepçesi ile oluşan curuf alındı, pota vinç vasıtasıyla kokil kalıbın yanına getirildi. Burada grafit çubuk ile tekrar karıştırılıp, döküme geçildi. Döküm sonrası besleyici üzerine ekzotermik toz örtülerek döküm işlemi tamamlanmış oldu. Kalıp olarak ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiş olan kokil kalıp kullanılmıştır.

7.3.2 (C) ve (D) Numunelerinin Spektral Analiz Sonuçları

Hazırlanan numunelerin spektral analizleri Alman WAS ile yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 7.4’de görülmektedir.

Çizelge 7.4 (C) ve (D) numunelerinin spektral analizleri

	(C)	(D)
Cu	98.75	98.062
Sn	<0.001	<0.001
Zn	<0.005	0.014
Pb	<0.001	<0.001
Fe	<0.001	<0.001
Ni	0.044	0.060
Al	0.023	0.001
Si	0.033	0.025
Mn	0.014	0.014
Be	0.001	0.003
Co	-	0.013
Cr	1.038	1.038
Mg	0.002	0.002
Zr	0.091	-

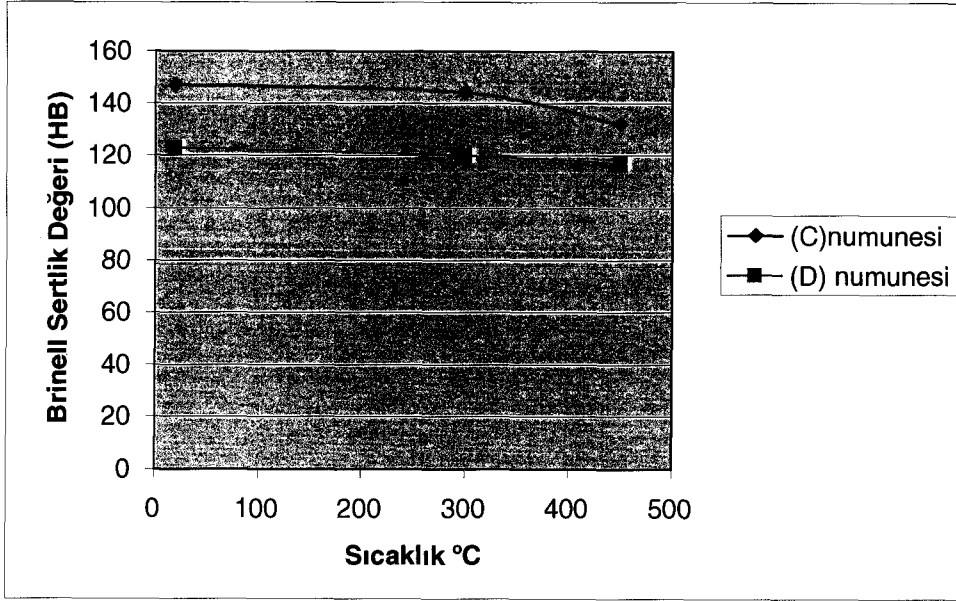
7.3.3 (C) ve (D) Numunelerinin Brinell Sertlik Değerleri

Spektral analizlerinden sonra alınan numuneler 1018° C’de çözeltiye alınmış, 16°C’de suda soğutulmuş, daha sonra ise 470°C’de yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem kriterleri yani çözeltiye alma sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresi ise yapılan ısıl işlem deneyleri sonucunda seçilmiştir. Bu deneyler daha sonraki bölümlerde anlatılacaklardır. Alaşımlardan alınan numunelerin Brinell sertlik ölçümleri sırasında uygulanan yük 62.5kp ve kullanılan bilya çapı 2.5 mm’dir.

Ancak bu çalışmada değişik sıcaklıklarda bekletilmiş olan numunelerin sertlik değerleri de ölçülmüştür. Bunun için (C) ve (D) alaşımından üçer adet sertlik numunesi alınmış ve sırasıyla oda sıcaklığındaki sertlik değerleri, 300°C’ de bir saat bekledikten sonraki sertlik değerleri ve 450°C’ de 2 saat bekledikten sonraki sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu numunelerin sertlik değerleri Çizelge 7.5’de görülmektedir.

Çizelge 7.5 Hazırlanan alaşımların Brinell Sertlik değerleri

	Brinell Sertlik Değerleri (HB)		Brinell Sertlik Değerleri (HB)
(C) oda	147	(D) oda	123
(C) ₃₀₀	144	(D) ₃₀₀	120
(C) ₄₅₀	138	(D) ₄₅₀	117



Şekil 7.5 (D) ve (C) numunelerinin artan sıcaklığa bağlı olarak değişim gösteren sertlik değerleri

7.3.4 (C) ve (D) Numunelerinin Metalografik İncelemeleri

Bakır krom zirkonyum alaşımı her ne kadar çökelme sertleştirilmesi işlemine tabi tutulmuş olsa da yumuşak bir malzemedir ve sıvama yapma eğilimindedir bu nedenle tüm metalografik uygulamaları sırasında zımpara işlemi elle yapılmalıdır ve zımparalama işlemi sırasında numuneden kopan parçacıkların kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi için sulu zımpara yapılmıştır.

Zımparalama işlemine sulu ortamda 120 meşlik zımparalama ile başlanmıştır daha sonra zımpara giderek 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 4000'lik meşlere kadar inceltilmiştir. Zımparalama işlemi sona erdikten sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Bu parlatma işlemi otomatik parlatma makinasında yapılmıştır ve parlatma için iki farklı parlatma diskinde Al_2O_3 alumina ve elmas pasta kullanılmıştır. İlk önce alumina ile parlatılan numuneler daha sonra 15 μm ' lik elmas pasta ile otomatik parlatma diskinde parlatılmıştır.

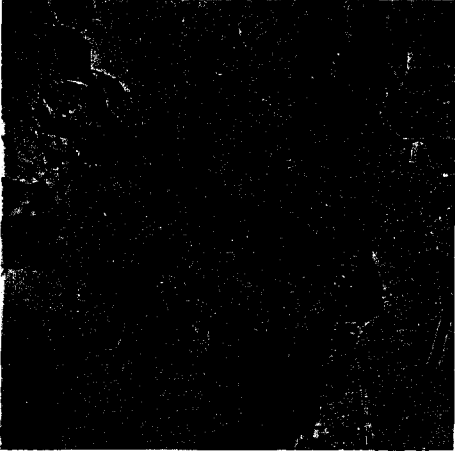
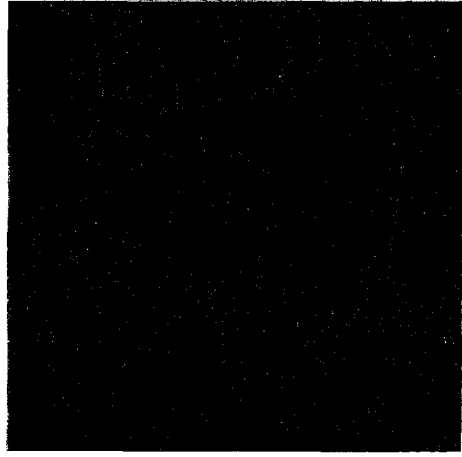
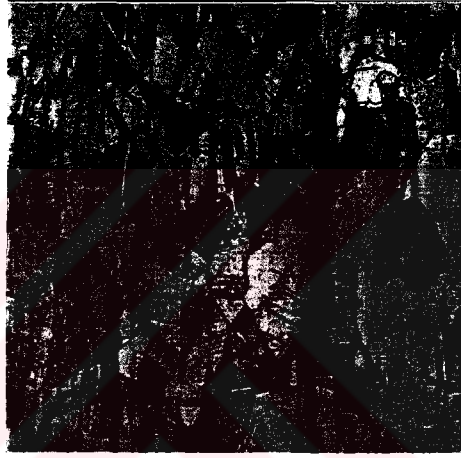
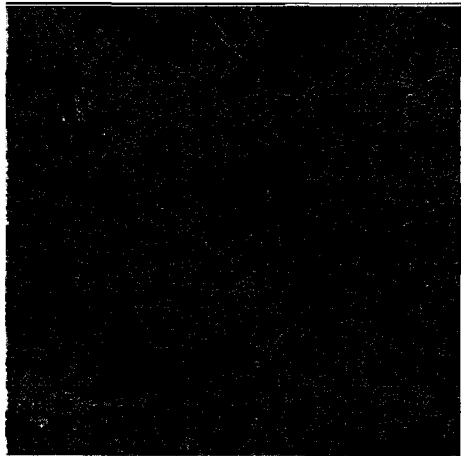
Parlatma işleminden sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Aşağıda içeriği verilmiş dağlama ayırıcı ile yaklaşık 30 ile 35 saniye arasında dağlama yapılmıştır. Yapının daha iyi gözlemlenebilmesi ve görüntünün iyi çıkması için dağlama öncesi ayıraca 2 damla HCl damlatılmıştır. Kullanılan dağlama ayracının özellikleri Çizelge 7.3'te verilmiştir. Bünye

görüntüleri ışık metal mikroskobunda 100x büyütme ile incelenmiştir.

(D)_{oda} numunesinin ışık metal mikroskobundaki görüntüleri göz önüne alındığında iğnemsî çökelti dikkati çekmekte. (D)₃₀₀ numunesinin ışık metal mikroskobundaki görüntüleri göz önüne alındığında ise iğnemsî çökelti miktarının azalmaya başladığı dikkate çekmekte. (D)₄₅₀'ye baktığımızda ise mevcut doku ikinci faz bakımından daha zengin bir yapıdadır; çökeltiyi oluşturan ikinci faz daha iri boyutludur.

(C)_{oda} numunesinin ışık metal mikroskobundaki görüntüleri göz önüne alındığında homojen dağılmış iğnemsî çökelti dikkati çekmekte. (C)₃₀₀ numunesinin ışık metal mikroskobundaki görüntüleri göz önüne alındığında ise iğnemsî çökelti miktarının azalmaya başladığı dikkate çekmekte. (C)₄₅₀'ye baktığımızda ise (D)₄₅₀'de olduğu gibi nispeten iri boyutlu ikinci faz çökelti oluşmaktadır.

İğnemsî çökelti dislokasyonları çok iyi bloke edebilirken, toparlanan çökelti de bu özellik etkisini kaybetmiştir. Bunun yanı sıra artan sıcaklıkla α tanelerinin büyüdüğü gözlenmektedir.

(C)_{oda}(D)_{oda}(C)₃₀₀(D)₃₀₀(C)₄₅₀(D)₄₅₀

Şekil 7.6 (C)_{oda}, (D)_{oda}, (C)₃₀₀, (D)₃₀₀, (C)₄₅₀ ve (D)₄₅₀ numunelerinin ışık metal mikroskopunda 100x büyütmedeki görüntüleri

7.3.5 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Zr Oranının Değişiminin Değişik Sıcaklıklarda Alaşımın Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları

Çizelge 7.4, Şekil 7.5 den de görüldüğü gibi Zr katkısı ile oluşan Cr_2Zr intermetalik bileşiminin etkisiyle oda sıcaklığındaki sertlik yaklaşık 20HB kadar yüksektir. Artan sıcaklıkla hem Zr içeren hem de Zr içermeyen numunelerin sertlik değerleri düşüş göstermektedir. Ancak çıkılan sıcaklığın etkisi ile sertlik değerlerinde gözlenen düşmeye rağmen Zr içeren numunelerin sertliği halen daha Zr içermeyen numunelerin sertliğinden daha yüksektir. Mikro yapı incelemeleri de bu değerleri desteklemektedir.

7.4 Bakır-Krom –Zirkonyum Alaşımlarının Isıl İşlem İle İlgili Deneysel Çalışmaları

Bakır krom zirkonyum alaşımlarıyla yapılan deneysel çalışmalarda bu alaşımlara uygulanan çökelme sertleşmesi işlemi ve bu işlem sırasında uygulanan çözeltiye alma sıcaklığının, su sıcaklıklarının malzemenin mukavemetine olan etkileri bunun yanında yaşlandırma sıcaklığının tane boyutu ve mukavemete etkisi ve yaşlandırma süresinin tane boyutu ve mukavemete etkisi incelenmiştir. Ayrıca tüm bu özelliklere ek olarak yapılan ısıl işlemlerin elektriksel özelliklere olan etkileri de incelenmiştir.

Bu deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler daha önceki deneyler göz önünde bulundurularak en iyi özelliklere sahip olan Çizelge 7.1 de (C) spektral analizine sahip alaşımdan 180 mm. çapında biyete döküm yapılarak ve bu biyetten şerit testere ile kesilerek çıkarılmıştır. Daha sonra 950 °C’ de sıcak dövme yapılmış bunun ardından 110 mm çapına düşen çubuktan 13 adet 0.5 cm kalınlığında numune kesilerek elde edilmiştir.

Numunelerin kesilmesinden sonra ısıl işlem deneylerine geçilmiştir. 1 numaralı numune ısıl işlem öncesi ve sonrası mekanik özelliklerin karşılaştırılabilmesi için hiçbir ısıl işleme tabi tutulmamıştır. Yapılan ısıl işlem deneylerinde;

- Çözeltiye alma sıcaklığının malzemenin mukavemetine ve elektriksel özelliklere etkisi incelenirken çözeltiye alma sıcaklığı değişken olarak seçilmiş su sıcaklığı yaşlandırma sıcaklığı ve süresi sabit tutulmuştur.
- Su sıcaklığının mukavemet değişimine ve elektriksel özelliklere etkisinin incelenmesinde ise soğutma suyu sıcaklığı değişken olarak seçilmiş, çözeltiye alma sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı ve yaşlandırma süresi sabit tutulmuştur.
- Yaşlandırma sıcaklığının tane boyutu, mukavemete ve elektriksel özelliklere etkisi incelenirken bu sefer yaşlandırma sıcaklığı değişken olarak seçilmiş deneydeki çözeltiye alma sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı ve yaşlandırma süresi sabit tutulmuştur.
- Yapılan yaşlandırma süresinin tane boyutu , mukavemete ve elektriksel özelliklere olan etkisinin incelendiği deneyde çözeltiye alma sıcaklığı, su sıcaklığı ve yaşlandırma sıcaklığı sabit tutulmuş yaşlandırma süresi değiştirilmiştir.

Yapılan dört deneyde farklı değişkenler kullanılarak ısıtma işlem sırasında malzemenin yapısına ve mukavemetine hangi değişkenin nasıl etki ettiği incelenmiştir.

Yapılan ısıtma işlem deneylerinden sonra numunelerin sertlik ölçümleri, metalografik uygulamalarına ve elektriksel iletkenliklerinin ölçümlerine geçilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri brinell cinsinden yapılmıştır. Sertlik ölçümü sırasında uygulanan yük 62.5 (kp) kilopond dur ve kullanılan bilye çapı 2.5 mm'dir. Sertlik ölçümü yapılarak her numunenin ısıtma işlem sonrası hiç ısıtma işlem görmemiş olan numuneye göre mukavemetinin değişimi belirlenir.

Bakır krom zirkonyum (CuCrZr) alaşımının ısıtma işlem sonrası metalografik uygulaması yapılmasıyla bünne yapıları ve yapılan ısıtma işlemler sonrasında işlem öncesi belirlediğimiz çözeltiye alma sıcaklığının değişimine, soğutma suyu sıcaklığının değişimine, yaşlandırma sıcaklığının değişimine ve yaşlandırma süresinin değişimine göre hiç ısıtma işlem görmemiş numuneye göre bünne yapılarının değişimi gözlemlenmiştir. Deneylerin uygulanması sırasında sertlik ve bünne yapılarının ısıdan etkilenip ısıtma işlem özelliklerinde bir değişim olmaması için bol soğutma suyu kullanılmıştır.

Bakır krom zirkonyum (CuCrZr) alaşımasının metalografik incelemesi yapılmadan önce numuneler çok ince olduğundan rahatça tutulabilmesi için sıcak monte işlemi uygulanmıştır. Daha sonra yaşlandırma işlemi sırasında üzerinde oluşan tufal tabakası giderilmiştir. Bakır krom zirkonyum alaşımı her ne kadar çökelme sertleştirilmesi işlemine tabi tutulmuş olsa da yumuşak bir malzemedir ve sıvama yapma eğilimindedir bu nedenle tüm metalografik uygulamaları sırasında zımpara işlemi elle yapılmalıdır ve zımparalama işlemi sırasında numuneden kopan parçacıkların kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi için sulu zımpara yapılmıştır.

Zımparalama işlemine sulu ortamda 120 meşlik zımparalama ile başlanmıştır daha sonra zımpara giderek 180, 240,320,400,600, 800, 1000 ve 4000'lik meşlere kadar inceltilmiştir. Zımparalama işlemi sonra erdikten sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Bu parlatma işlemi otomatik parlatma makinasında yapılmıştır ve parlatma için iki farklı parlatma diskinde Al_2O_3 alumina ve elmas pasta kullanılmıştır. İlk önce alumina ile parlatılan numuneler daha sonra 15 μm 'lik elmas pasta ile otomatik parlatma diskinde parlatılmıştır.

Parlatma işleminden sonra sıra dağlama işlemindedir. İçeriği Çizelge 7.3 te verilmiş dağlama ayıracı ile yaklaşık 30 ile 35 saniye arasında dağlanmıştır. Yapının daha iyi gözlemlenebilmesi ve görüntünün iyi çıkması için dağlama öncesi ayıraca 2 damla HCl damlatılmıştır.

Bünye yapılarının görüntüleri ışık metal mikroskobunda incelenmiş ve daha sonra 100x büyütmede fotoğrafları çekilmiştir. Çökelme sertleştirilmesi işleminde çökelen fazların gözlemlenebilmesi için numune daha sonra JEOL LV 5600 tarama elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

7.4.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklığının Mikro Yapıya, Sertliğe, Elektriksel İletkenliğe ve Mukavemete Etkisinin İncelenmesi Deneyi

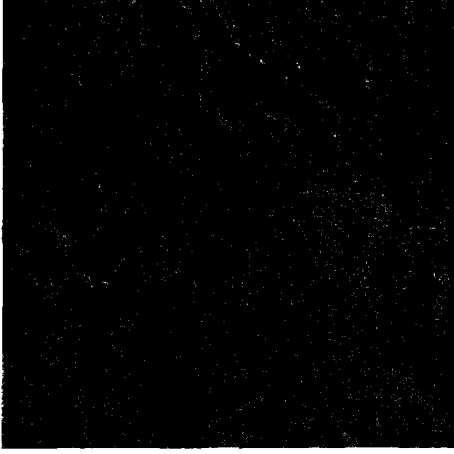
Bakır krom zirkonyum alaşımlarına uygulanan çökelti sertleştirme işleminde çözeltiye alma sıcaklığının mikro yapı, sertlik, elektriksel iletkenlik ve mukavemet üzerindeki etkisinin incelenmesi deneyinde sırasıyla 2 ve 3 numaralı numuneler kullanılmıştır. Bu deneyde değişken olarak iki ayrı çözeltiye alma sıcaklığı seçilmiştir bu sıcaklıklar sırasıyla 930°C ve 1018°C' dir. Deneyin amacı doyma sıcaklığının üzerindeki sıcaklarda en ideal çözeltiye alma sıcaklığını tespit etmek ve değişen sıcaklıklarla bünye yapısının ve sertliğin değişimini gözlemlemektir.

Deney sırasında iki ayrı çözeltiye alma sıcaklığı uygulanırken su sıcaklığı iki numune içinde 16°C' de sabit tutulmuştur bunun yanında yaşlandırma sıcaklığı 470 °C seçilip yaşlandırma süresi 5 saattir.

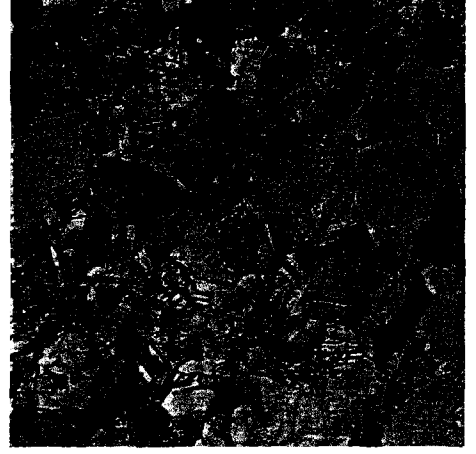
Bu deneyde hiç ısıtıl işlem görmemiş 1 numaralı numune ile farklı sıcaklıklarda çözeltiye alınmış olan 2 ve 3 numaralı numunelerin sertlik değerleri, elektriksel iletkenlik değerleri ve mikro yapıları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

7.4.1.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklıının Mikro Yapıya Etkisinin İncelenmesi

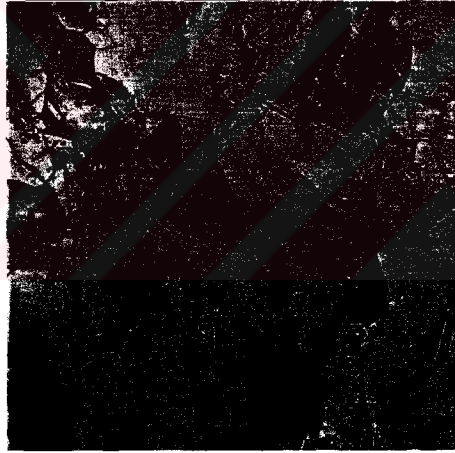
Şekil 7.7 de 1,2 ve 3 numaralı numunelerin ışık metal mikroskopunda x100 büyütmedeki görüntüleri görölmektedir.



(1)



(2)



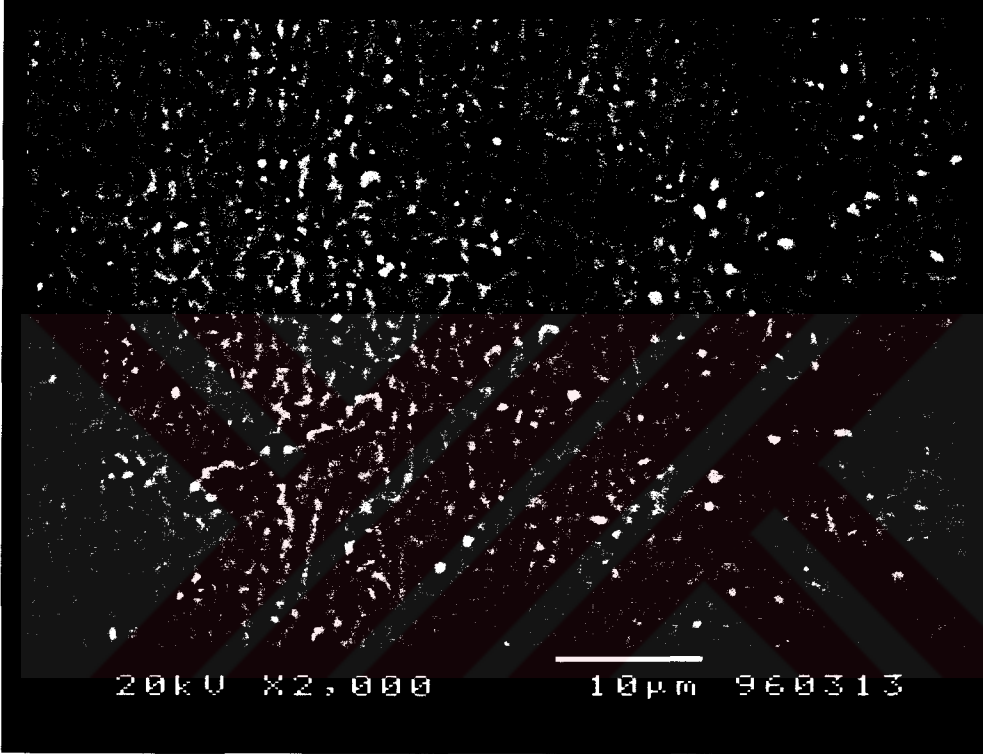
(3)

Şekil 7.7 (1), (2) ve (3) numaralı numunelerin ışık metal mikroskopunda 100x büyütmedeki görüntüleri

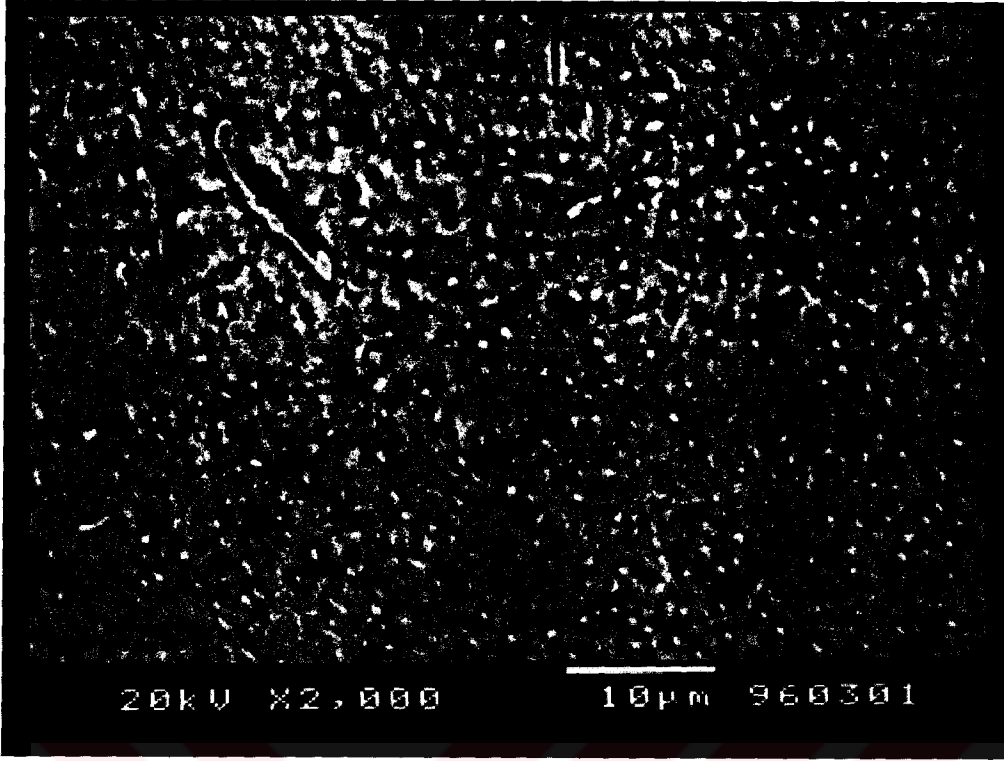
Şekil 7.7 den de göröldüğü gibi 1 numaralı numunenin α fazı yani Cu kristalinin ve Cr_2Zr intermetalik bileşiminin çözeltiye alınmış bir şekilde tane sınırlarında biriktiğı görölmektedir.

2 numaralı numunenin görüntüsüne bakıldığında ise çözeltiye alınmış Cr ve Cr_2Zr fazlarının çok fazla olmadığı büyük bir kısmının tane sınırlarında çökelti halinde birikmiş olduğu görülmektedir. 3 numaralı numunenin yapısına bakıldığında ise Cr ve intermetalik Cr_2Zr bileşimlerinin güzel bir şekilde çözeltiye alındığı ve tane içerisinde homojen bir şekilde dağılmış çökelti mevcudiyeti görülmektedir.

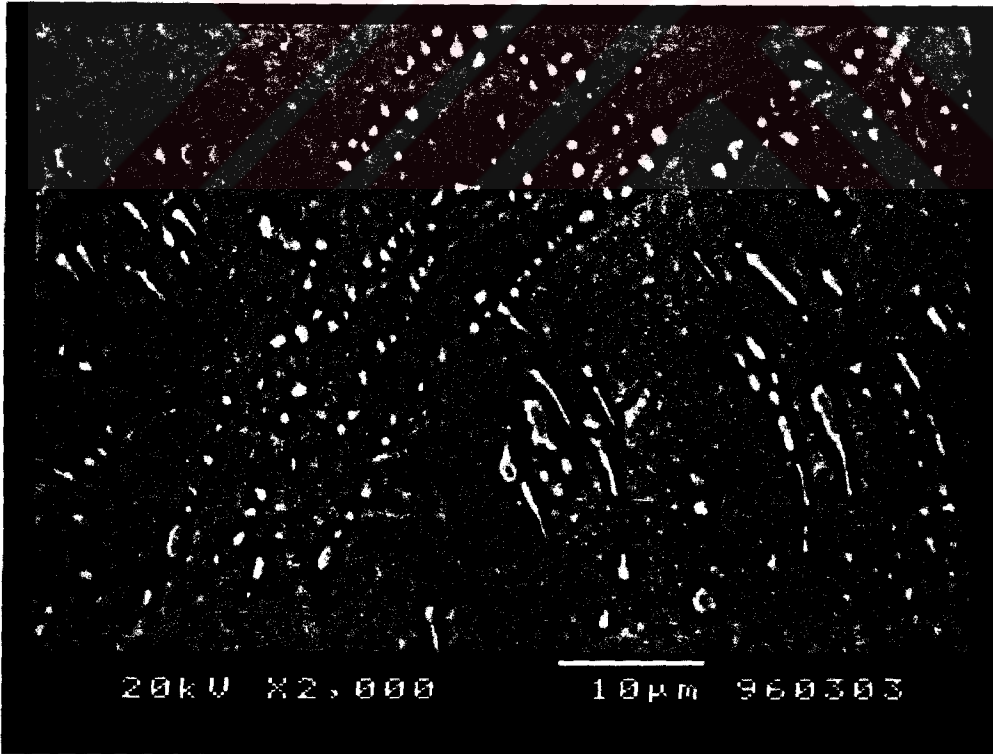
Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10 da 1, 2 ve 3 numaralı numunelerin SEM fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 7.8 1 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.9 2 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.10 3 numaralı numunenin SEM görüntüsü

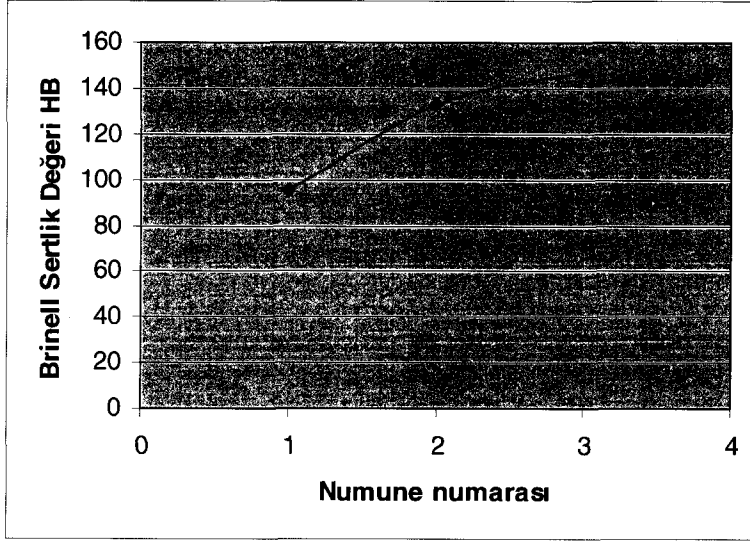
SEM fotoğraflarına bakıldığında 1 numaralı numunede yapının neredeyse arı bakır ile aynı olduğu görülmekte, 2 ve 3 numaralı numuneye bakıldığında ise çözeltiye alma işleminin gerçekleştirildiği ancak 2 numaralı numunede yeterli miktarda olmadığı ve homojen olarak dağılmadığı, ancak 3 numaralı numunede ise hem yeterli miktarda çözeltiye alma işleminin gerçekleştirildiği hem de çökeltilerin homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir.

7.4.1.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklığının Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi

İki ayrı çözeltiye alama sıcaklığında yapılan deneysel çalışma sonucunda HB olarak ölçülen sertlik değerleri aşağıdaki şekil ve çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 1,2 ve 3 numaralı numunelerin sertlik değerleri

Numune No:	Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Su Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Sertlik (HB)
1	-	-	-	-	95
2	930°C	16 °C	470 °C	5	133
3	1018 °C	16 °C	470 °C	5	147



Şekil 7.11 1,2 ve 3 numaralı numunelerin HB Brinell Sertlik değerleri

1 numaralı numunenin sertlik değeri diğerlerinin çok altındadır. Bunun nedeni ısıtıl işlem görmemiş olmasıdır. Aslında çok daha düşük olması beklenirken 95 HB olmasının nedeni olarak sıcak dövülmüş olması gösterilebilir. Yukarıda da görüldüğü gibi çözeltiye alma sıcaklığı ötektik sıcaklığa yaklaştıkça sertlik değerleri de artmaktadır. Ancak bilindiği üzere ötektik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklara çıkıldığı zaman yapıdaki ötektik katılaştıran bölgelerde kısmi ergime söz konusudur. Dolayısıyla çalışma aralığı olarak ötektik sıcaklık ile alaşımın doyma eğrisinin kesiştiği sıcaklık aralığı tercih edilmelidir ve mümkün olduğu kadar ötektik sıcaklığa yakın sıcaklıklar tercih edilmelidir. 3 numaralı numunede oluşan çökeltiler dislokasyonları bloke ederek sertliği arttıracak şekilde olmuştur.

7.4.1.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi

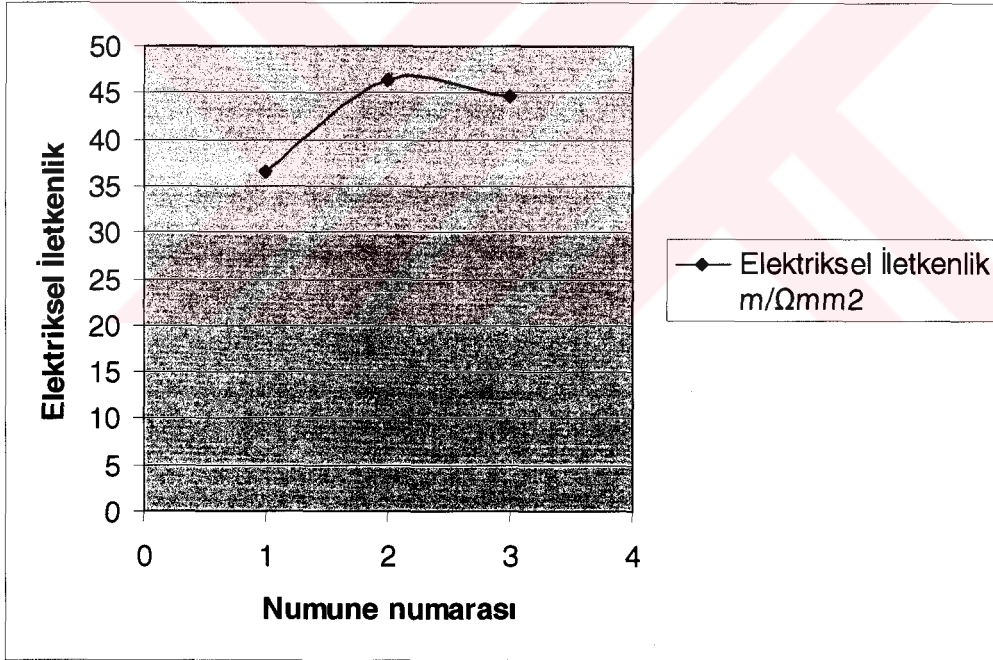
Elektriksel gerilim uygulanmasıyla bir atomun etki alanını terk edip, bir diğer atomun etki alanına giren elektronlar yeni konumlarına ulaşınca kadar atom uzaklığının birçok katı kadar yol kat ederler. Kafes yapısındaki kusurlar elektronun alabileceği bu serbest yol uzunluğunun azalmasına yol açar. Dolayısıyla dislokasyon yoğunluğunun yüksek olduğu soğuk şekil değiştirilmiş metaller ile katı çökeltiler veya alaşım elamanı olarak yabancı atomlar içeren metallerde iletkenlik daha düşük olur. (H-J.BARGEL, 1988)

Buna göre numuneler incelediğinde şu şekilde sonuçlar çıkmaktadır.

Çizelge 7.7 1,2 ve 3 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

Numune Numarası	Elektriksel İletkenlik $m/\Omega mm^2$
1	36,58
2	46,35
3	44,63

1,2 ve 3 numaralı numunelere bakıldığında çözeltiye alma sıcaklığı düştükçe iletkenliğin yükseldiği görülmektedir. Artan ΔT değeri çözeltiye alınan çökelti miktarını artırırken elektronların kat edeceği serbest yol uzunluğu kısalmaktadır..



Şekil 7.12 1,2 ve 3 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

7.4.2 Soğutma Suyu Sıcaklığının Mikro Yapıya, Sertliğe, Elektriksel İletkenliğe ve Mukavemete Etkisinin İncelenmesi Deneyi

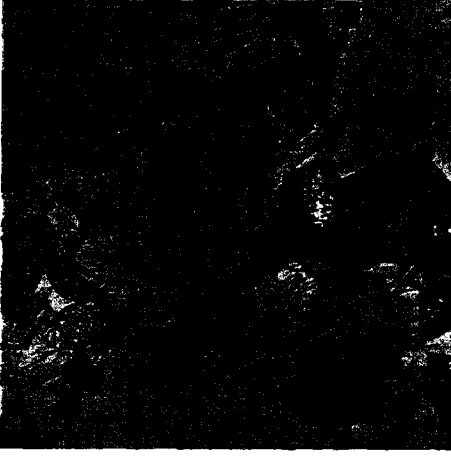
Bakır krom zirkonyum alaşımlarına uygulanan çökelme sertleşmesi incelenirken soğutma suyu sıcaklığının mikro yapıya, sertliğe, elektriksel iletkenliğe ve mukavemete etkisi incelenmiştir. Burada amaç daha önce α fazı içinde çözeltiye alınmış olan krom ve zirkonyumun dengeli fazlarının oluşmasına izin vermeyecek kadar hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğutulması işleminde soğutma hızının malzemenin sertlik elektriksel iletkenlik ve mukavemetine etkisi araştırılmaktadır.

Burada soğutma hızı, soğutma suyu sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir soğuma suyunun sıcaklığının düşük olması soğuma hızını maksimuma çıkartır. Sırasıyla 4,5 ve 6 numaralı numunelerle yapılan bu deneyde çözeltiye alma sıcaklığı 1018°C de sabit tutulmuş soğutma suyu sıcaklığı 16°C, 56°C ve 79°C olarak değiştirilmiştir İşlem sırasında yaşlandırma sıcaklığı 470°C olup yaşlandırma süresi 5 saattir.

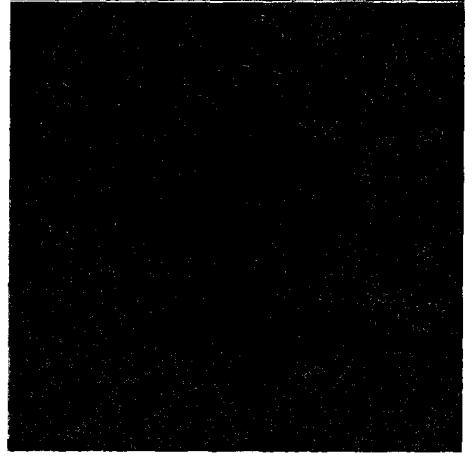
Deney sonunda numunelerin sertlik değerleri ölçümü ve su sıcaklığına bağlı olarak malzemenin sertliği, elektriksel iletkenliği ve mikro yapıları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

7.4.2.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Mikro Yapıya Etkileri

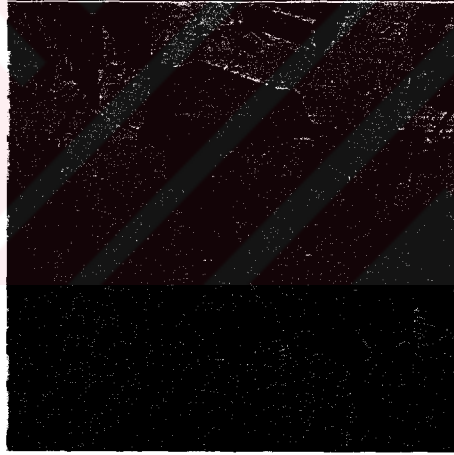
Şekil 7.13'te 4,5 ve 6 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobundaki 100x büyütmedeki mikroyapıları görölmektedir.



(4)



(5)

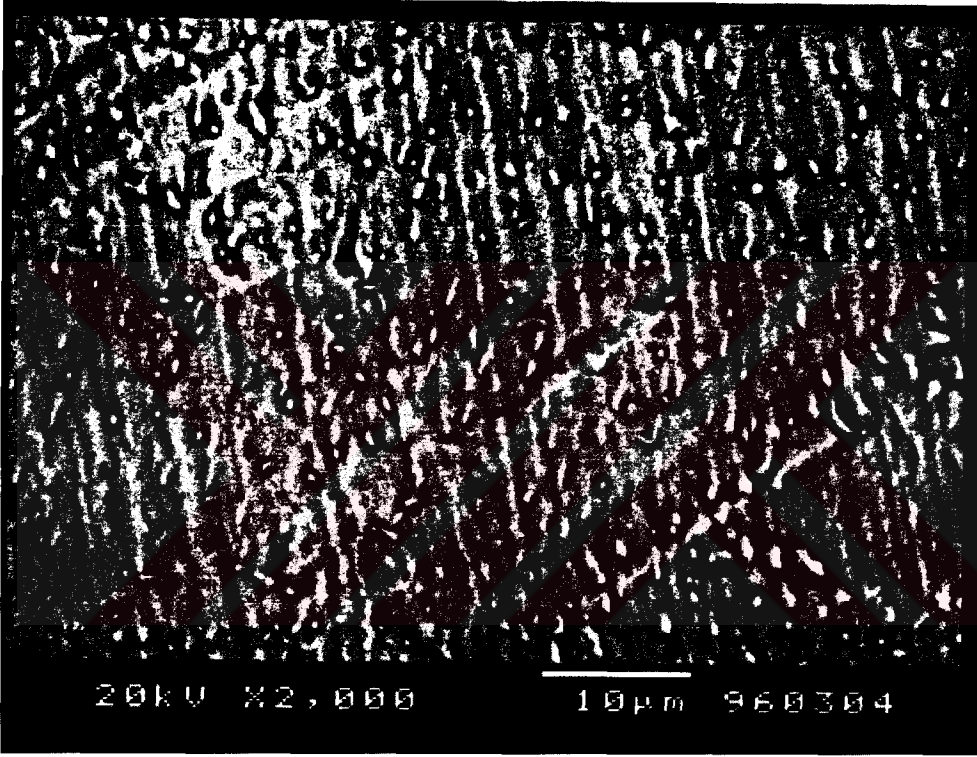


(6)

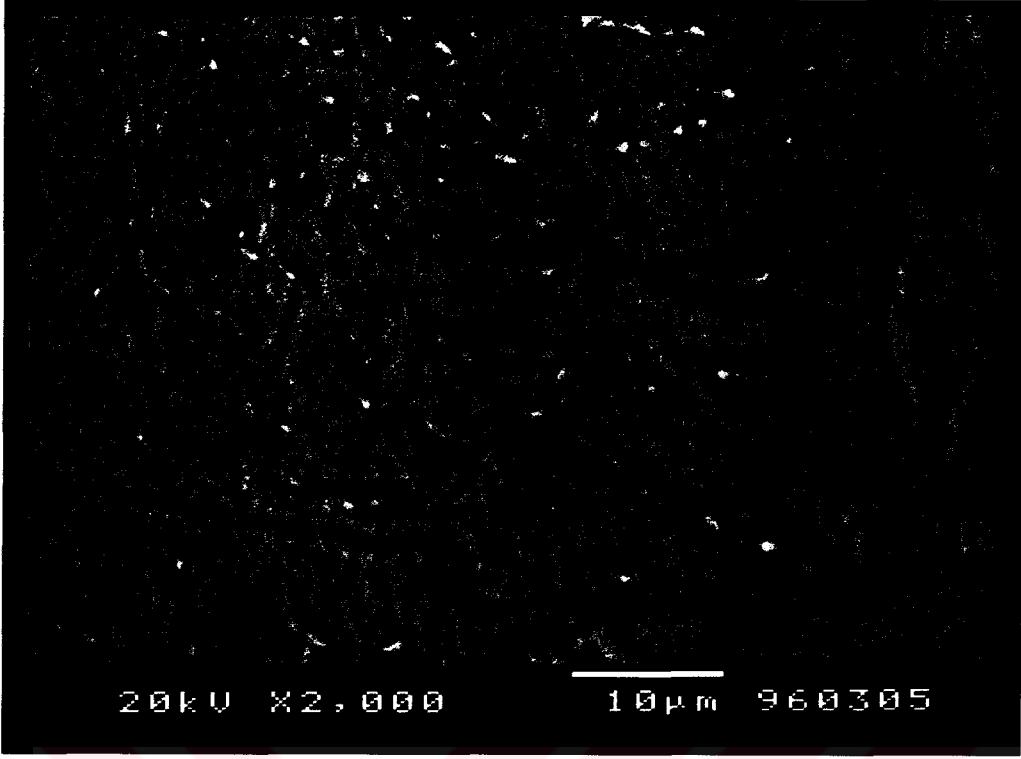
Şekil 7.13 4,5 ve 6 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobundaki 100x büyütmedeki görüntüleri

Şekil 7.13'ten de görüldüğü gibi (4) numaralı numunede çözeltiye alma işlemi daha fazla gerçekleşmiş ve çökeltiler homojen olarak dağılmıştır.

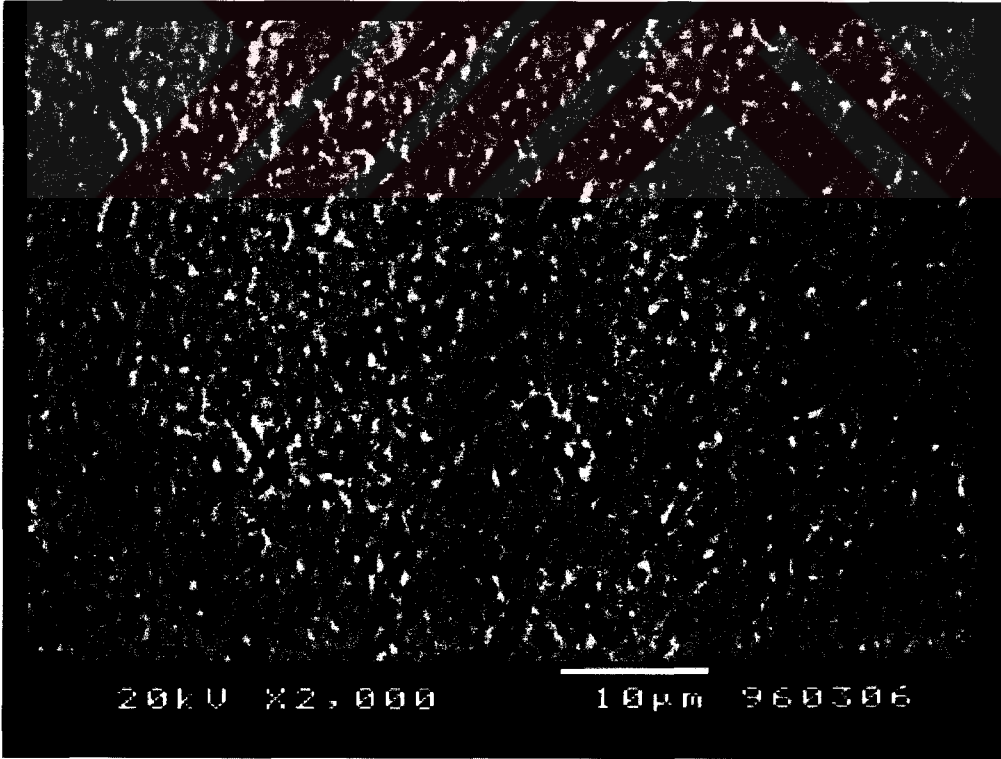
(5) numaralı numunede çözeltiye alınan miktarın azalmış olduğu ve homojen dağılmadığı görülmektedir. (6) numaralı numunede ise diğer iki numuneye göre çok daha az çözeltiye alma gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16'da 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin SEM fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 7.14 4 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.15 5 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.16 6 numaralı numunenin SEM görüntüsü

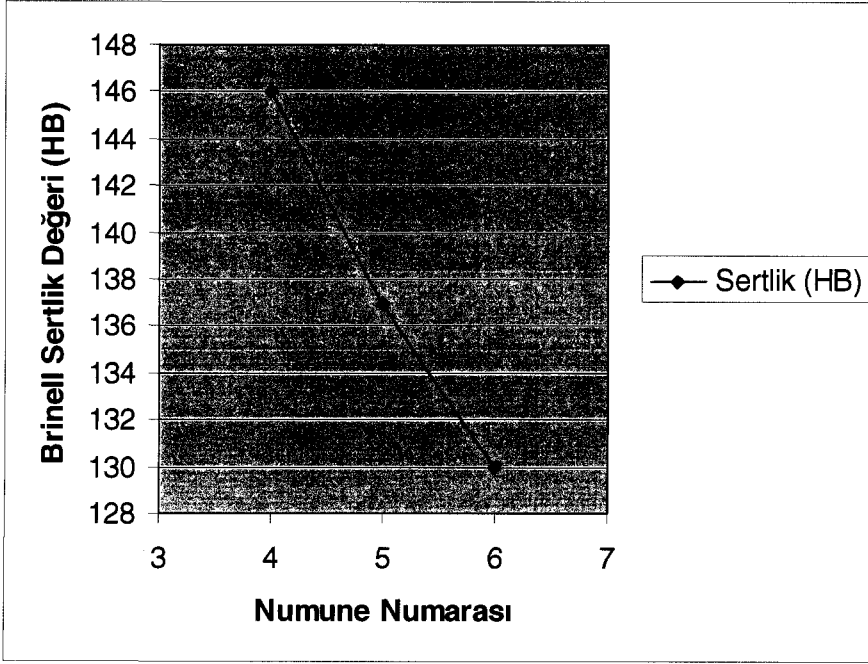
(4) numaralı numunenin SEM fotoğrafı incelendiğinde çökeltilerin homojen bir şekilde dağılmış oldukları, (5) ve (6) numaralı numunelerin ise çökeltilerinin birleşerek biriktikleri ve yeterli miktarda çökelme gerçekleştiremedikleri görülmektedir.

7.4.2.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri

Üç ayrı çözeltiye alama sıcaklığında yapılan deneysel çalışma sonucunda Brinell Sertlik yöntemi ile (HB) ölçülen sertlik değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Deney sırasında soğutma suyu sıcaklığı 16 °C, 56°C ve 79°C olarak değiştirilmiştir. Deney sonrasında yapılan sertlik ölçümleri aşağıdaki çizelge ve şekilde gösterilmiş olup su sıcaklığının düşük olmasının soğuma hızını maksimuma yükselttiği ve bunun sonucu olarak ani soğuma nedeniyle çökeltilerin dislokasyonları ani bir şekilde bloke ettiği ve buna bağlı olarak sertliğin belirgin bir biçimde yükseldiği gözlemlenmiştir

Çizelge 7.8 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri

Numune No:	Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Su Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Sertlik (HB)
4	1018 °C	16 °C	470 °C	5	146
5	1018 °C	59 °C	470° C	5	137
6	1018 °C	76°C	470°C	5	130



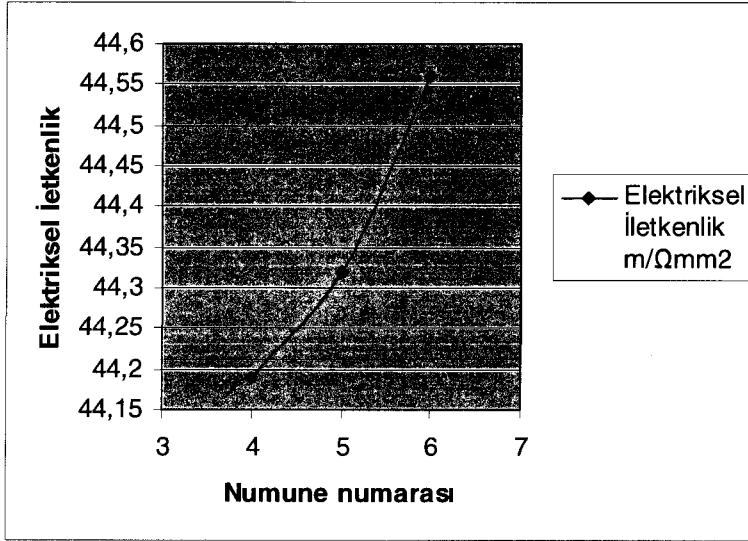
Şekil 7.17 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri

Çizelge 7.8 den de görüldüğü gibi (4) numaralı numunenin sertlik değeri, (5) ve (6) numaralı numunelerin sertlik değerlerinden yüksektir. Soğutma suyu sıcaklığının artması ile birlikte azalan serbest enerji nedeni ile Cu kristallerinin aşırı doymunluk derecesi düşmekte, buna bağlı olarak yaşılandırma sonu çökelti toplam miktarı azalmaktadır.

7.4.2.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Soğutma Suyu Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Değerleri Üzerine Etkileri

Çizelge 7.9 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

Numune Numarası	Elektriksel İletkenlik $m/\Omega mm^2$
4	44,19
5	44,32
6	44,56



Şekil 7.18 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

Artan ΔT değeri çözeltiye alınan çökelti miktarını artırırken soğuma hızının yükselmesi elektronların alabileceği serbest yol uzunluğunu azaltmaktadır. 4, 5 ve 6 numaralı numunelere bakıldığında soğutma suyunun değişimi de 1, 2 ve 3 numaralı numunelerde olan etkiyi yapmış düşen soğutma suyu sıcaklığı soğuma hızını artırarak Cu kristallerinin aşırı doygunluk derecesini yükseltmiş, buna bağlı olarak yaşlandırma sonu çökelti toplam miktarı artmıştır. Azalan su sıcaklığı ile iletkenlik düşmüştür.

Yukarıdaki deneyler de elde edilen iletkenlik kazancı kaybedilen mukavemet değerleriyle birlikte değerlendirilmeye alındığında bir kazanç olarak görülmemekte, mukavemet ile iletkenlik değerleri için en uygun sonuçların elde edildiği 3 ve 4 numaralı numunelere uygulanan işlemler tercih edilmektedir.

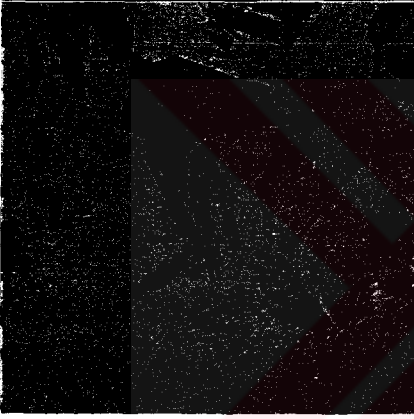
7.4.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Mikroyapı, Tane Boyutu, Elektriksel İletkenlik ve Sertlik Değerlerine Etkisinin İncelenmesi Deneyi

Yaşlandırma sıcaklığının mikro yapıya, elektriksel iletkenliğe, sertliğe ve mukavemete etkisinin incelenmesi deneyinin amacı CuCrZr alaşımı için en uygun yaşlandırma koşullarının belirlenmesidir. Deney 7, 8 ve 9 numaralı numuneler üzerinde uygulanmış ve bu numunelere 1018°C sıcaklıkta çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

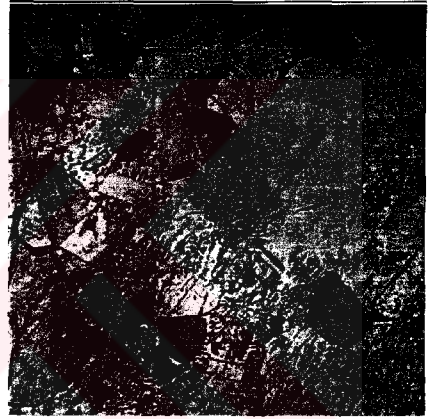
Soğutma suyu sıcaklığı bir önceki deneyde gözlemlendiği üzere 16°C seçildiği zaman en yüksek mukavemeti ve sertliği vermektedir. Bu nedenle soğutma suyu sıcaklığı 16°C olarak uygulanmıştır. Yaşlandırma süresi sabit tutulmuş ve 5 saat olarak belirlenmiştir. Yaşlandırma sıcaklığı deneyde 7,8 ve 9 numaralı numuneler için sırasıyla 320°C, 470°C ve 580°C olarak değiştirilmiştir. Yaşlandırma sıcaklığının değişimi malzemenin yaşlandırma miktarını ve çökecek tanelerin boyutlarını etkileyecek bu da malzemenin mukavemetini ve sertliğini doğrudan etkileyecektir.

7.4.3.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Mikroyapıya Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Şekil 7.19'da 7,8 ve 9 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobundaki 100x büyütmedeki görüntüleri verilmiştir.



(7)



(8)

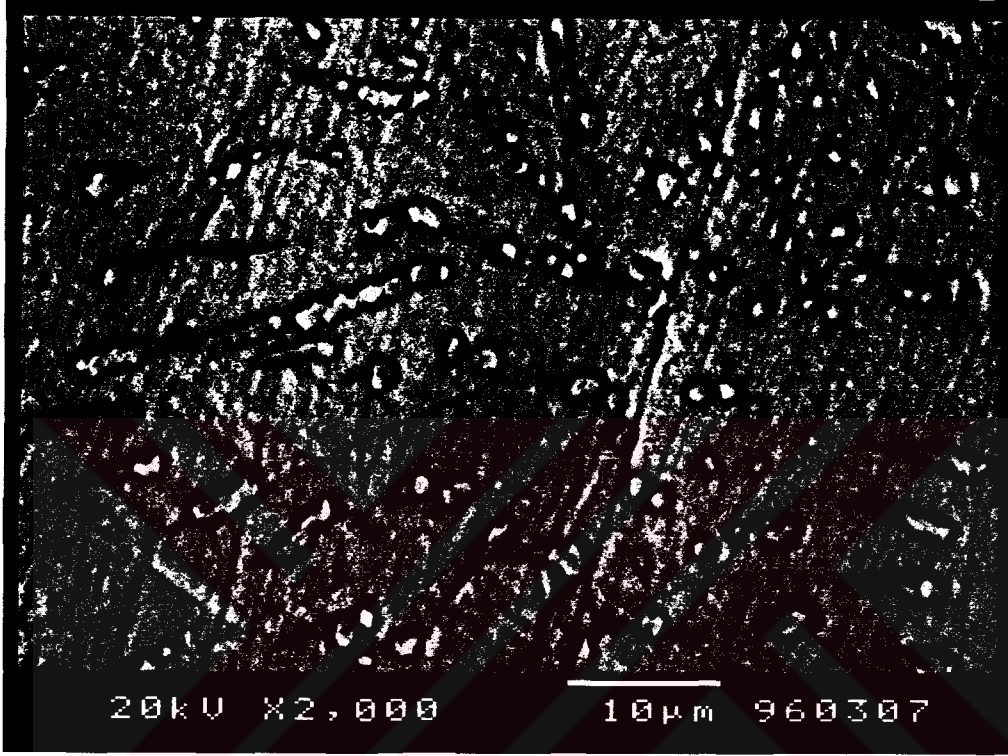


(9)

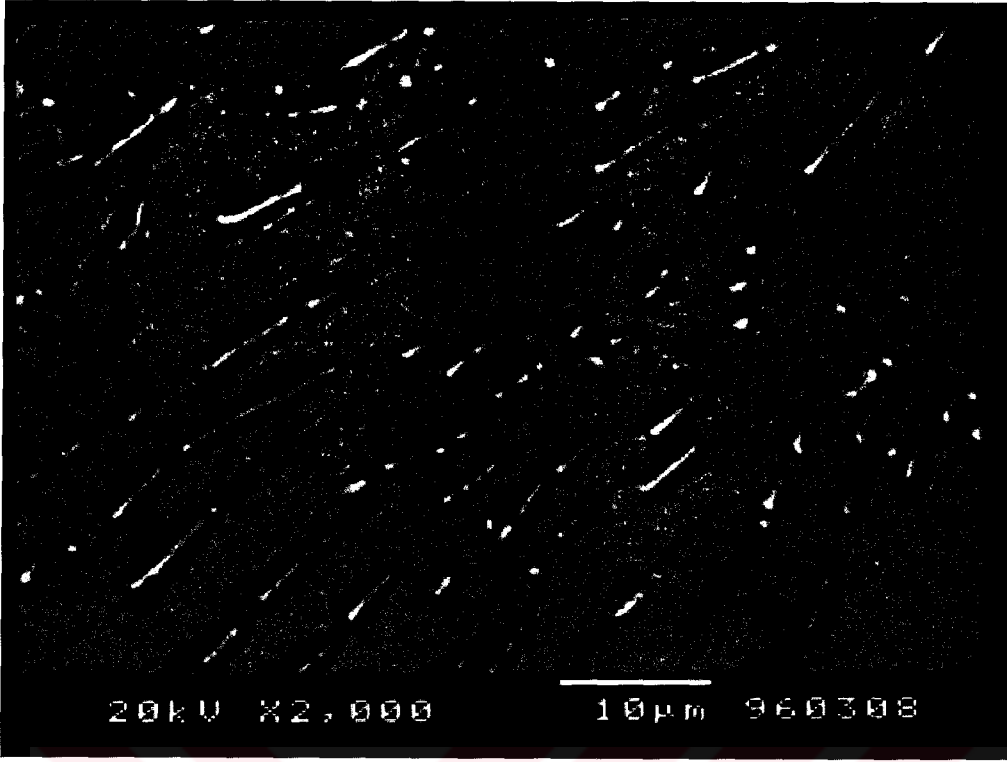
Şekil 7.19 7,8 ve 9 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri

Metalografik incelemede ise yaşlandırma sıcaklığı yükseldikçe özellikle 580°C sıcaklık için aşırı yaşlanmaya bağlı olarak çökeltilerin belirgin bir irileşme eğilimi içerisine girmiş olduğu gözlenmektedir.

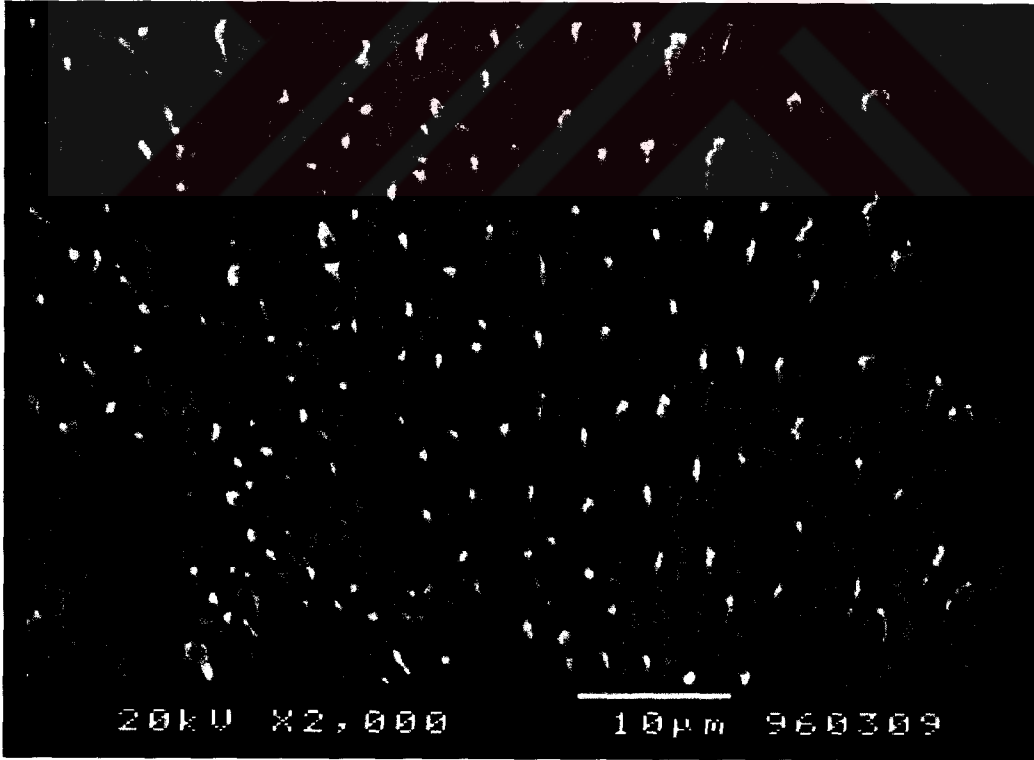
şekil 7.20, şekil 7.21 ve şekil 7.22’de 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin SEM fotoğrafları görölmektedir.



şekil 7.20 7 numaralı numunenin SEM göröntüsü



Şekil 7.21 8 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.22 9 numaralı numunenin SEM görüntüsü

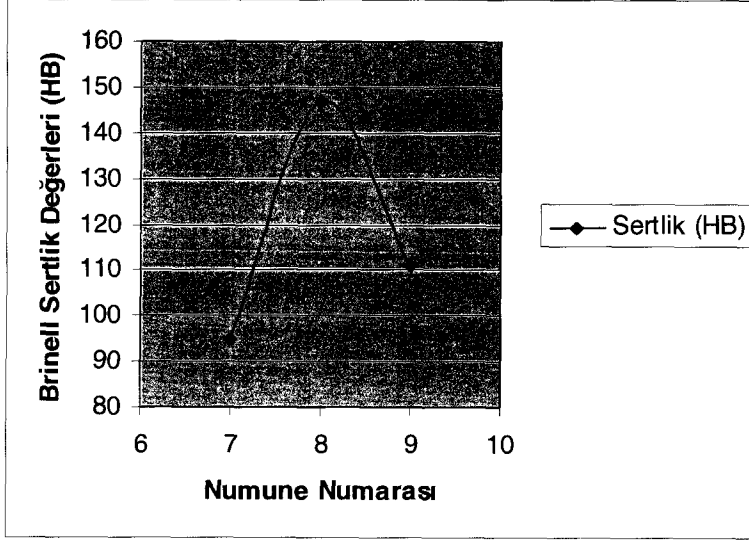
Yaşlandırma sıcaklığının çökeltilerin şekli ve büyüklüğü üzerindeki etkisinin gözlemlenebilmesi için bu numuneler SEM de incelenmiştir sıcaklık artışı ile çökeltilerin büyüme davranışı içine girdikleri ve bunun 470 °C civarında optimal boyuta ulaştığı ancak bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında büyümenin aşırı yaşlanma sonucu olduğu ve sertlik ve mukavemeti düşürdüğü gözlemlenmiştir

Yedi, sekiz ve dokuz numaralı numunelerin çökelti görüntüleri karşılaştırıldığından 8 numaralı numunenin çökeltilerinin çubuk şeklinde ve yönlendirilmiş olduğu görülmektedir. Açık renkteki zirkonyum etrafındaki krom fazının ideal oranda olduğu fakat yaşlandırma sıcaklığı daha düşük olan 320 °C sıcaklıkta ve daha yüksek olan 580 °C sıcaklıklarda çökelti şekli ve kompozisyon olarak yeterli sertlik ve mukavemeti göstermemektedirler

7.4.3.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Çizelge 7.10 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri

Numune No:	Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Su Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Sertlik (HB)
7	1018°C	16°C	320°C	5	95
8	1018°C	16°C	470°C	5	147
9	1018°C	16°C	580°C	5	111



Şekil 7.23 7,8 ve 9 numaralı numunelerin Brinell sertlik değerleri

7 numaralı numune de ulaşılan sertlik değerinin neredeyse hiç ısıtıl işlem görmemiş 1 numaralı numunedekine denk bir sertlik özelliği göstermesi, 320°C yaşlandırma sıcaklığında 5 saatlik tutma süresinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalara uygun olarak 470°C yaşlandırma sıcaklığında 5 saat bekleme sonunda elde edilen sertlik değeri anlamlı bir yaşlandırma etkisini ortaya çıkarmıştır.

9 numaralı numunede ise 580°C sıcaklığında uygulanan 5 saatlik yaşlandırma sonunda sertliğin 111HB gibi bir sertliğe düşmüş olması; tutma süresinin 580°C gibi yüksek bir sıcaklık için “Aşırı Yaşlanma” a neden olmasındandır.

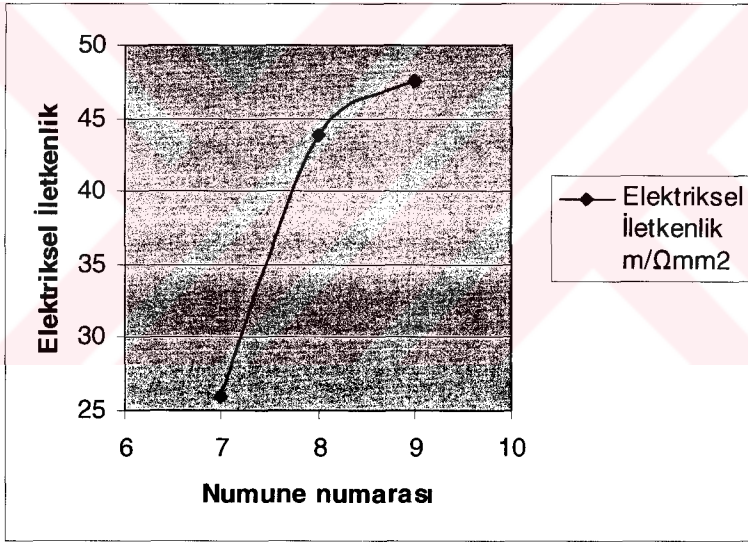
7.4.3.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Sıcaklığının Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Yaşlandırma için tutma sıcaklığı yükseldikçe iletkenliğin sürekli bir artış trendi içine girmesi çökelti adedinin azalmasına bağlı olarak metalsel bağlantılı faz bölgesinin dokuda daha geniş bir hacim kaplamasına dayanmaktadır.

Yine burada da 9 numaralı numunede artan iletkenliğe rağmen mukavemet değerlerindeki düşüşten dolayı ideal uygulamanın 8 numaralı numuneye yapılan uygulama olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 7.11 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

Numune Numarası	Elektriksel İletkenlik $m/\Omega mm^2$
7	25,94
8	43,81
9	47,60



Şekil 7.24 7, 8 ve 9 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

7.4.4 Yaşlandırma Süresinin Mikroyapı, Elektriksel İletkenlik ve Sertlik Değerlerine Etkisinin İncelenmesi Deneyi

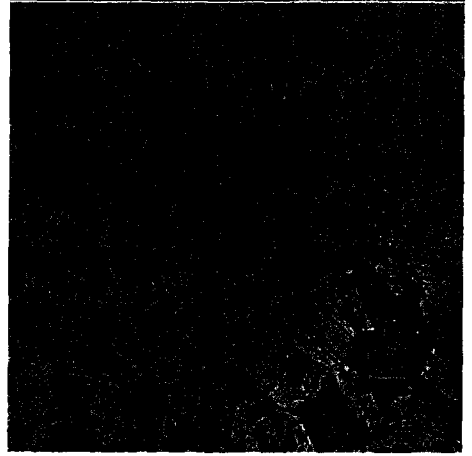
Çökelme sertleştirme işlemi uygulanırken yaşlandırma süresinin seçimi önemlidir. CuCrZr alaşımı ile yaptığımız deneysel çalışmada yaşlandırma süresinin değişimi ile birlikte malzemedeki tane boyutu değişiminin etkisiyle mukavemet ve sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Deneyde 10, 11 ve 12 numaralı numuneler kullanılmış ve sırasıyla 5, 2 ve 9 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Yaşlandırma işlemi sırasında yapı içerisinde, artan süre ile birlikte tane boyutu artmaya başlar ve bu artan tane boyutu malzemenin mukavemetine ve sertliğine doğrudan etki eder. Deney sırasında daha önceki deneylerde bulduğumuz optimum değerler olan 1018 °C’ de çözeltiye alma işlemi uygulanmış ve 16 °C soğutma suyu ile soğutulup 470 °C’ de yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Deney sonrası HB cinsinden sertlik ve Elektriksel İletkenlik değerleri ölçülmüş, ışık metal mikroskobunda ve SEM’ de mikro yapıları incelenmiş ve bu alaşımın optimum yaşlandırma süresi tespit edilmiştir.

7.4.4.1 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Mikroyapı, Üzerine Etkisinin İncelenmesi

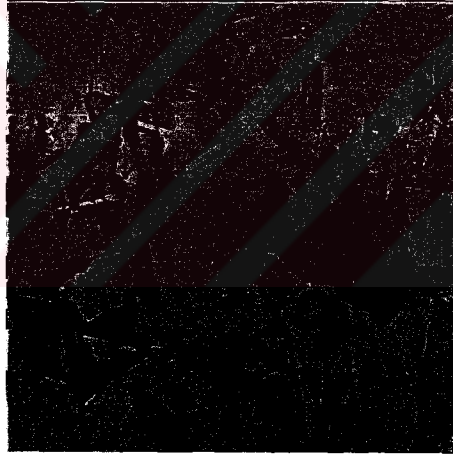
Şekil 7.24’de 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri verilmiştir.



(10)



(11)



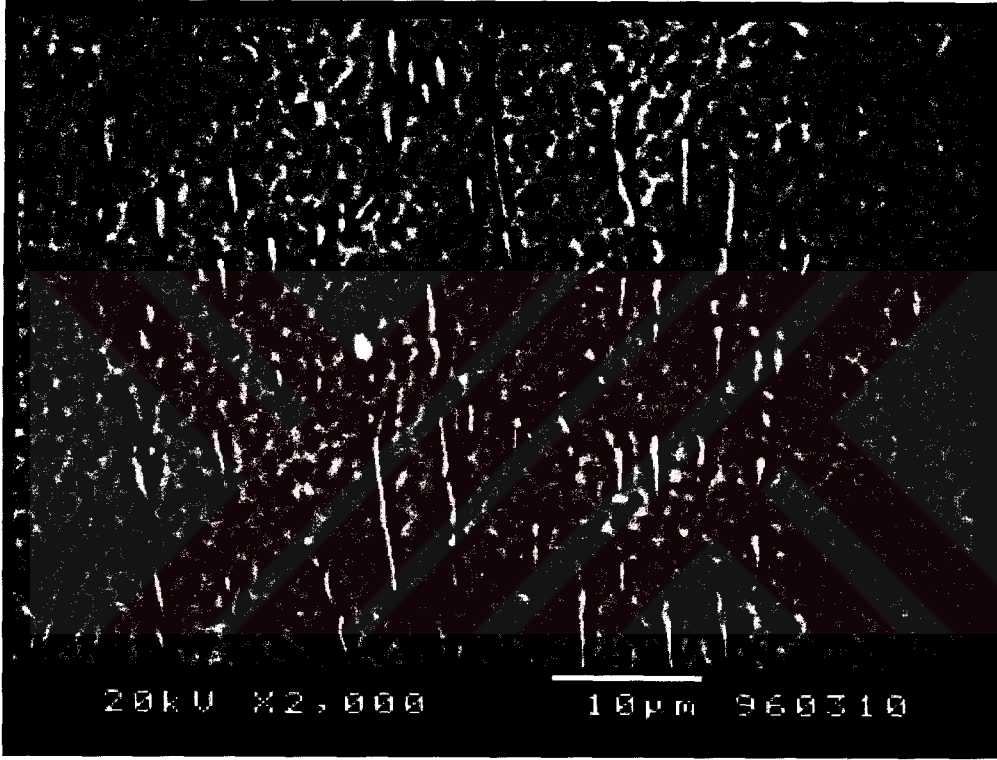
(12)

Şekil 7.25 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin ışık metal mikroskobunda 100x büyütmedeki görüntüleri

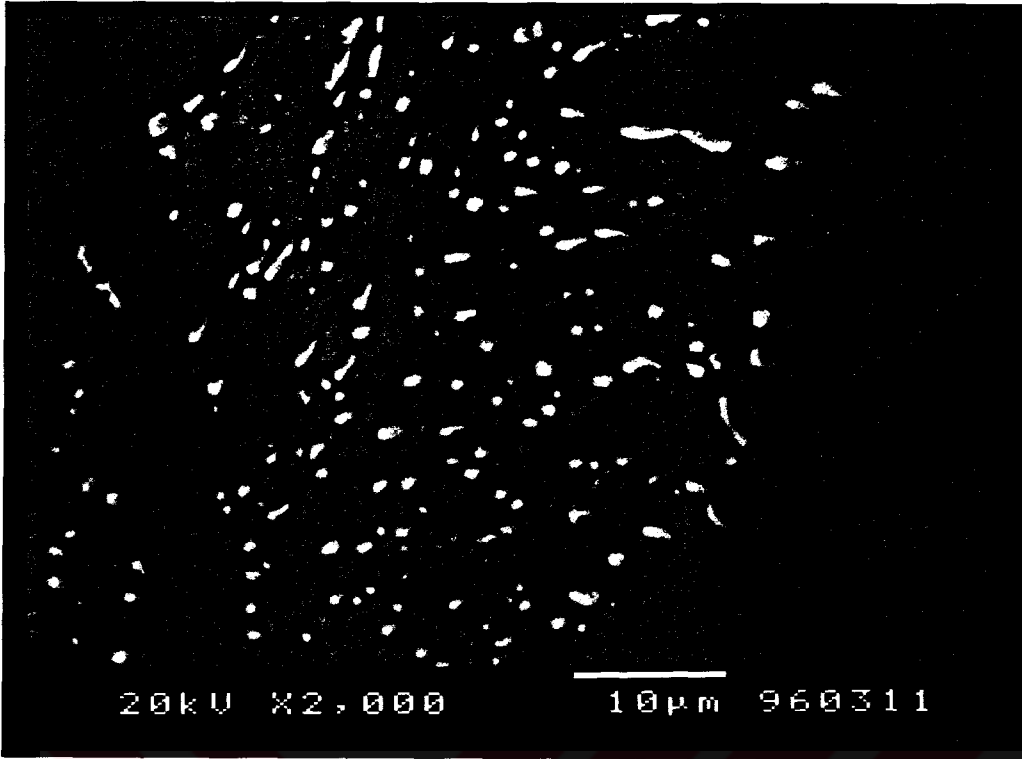
Deney sonrasında 10, 11 ve 12 numaralı numuneler incelendiğinde, 10 numaralı numunenin yapısında çökeltilerin tane boyutunun ideal boyutta olduğu anlaşılır, 11 numaralı numuneye bakıldığında bu numunede 2 saat yaşlandırma işlemi sonrasında ideal yaşlandırma sıcaklığı olan 470°C uygulanmış olsa da çökecek tanelerin yeterince irileşmediği dolayısıyla istenilen sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşamadığı görülür yani yetersiz yaşlandırma durumu söz konusudur.

12 numaralı numune ise yine ideal sıcaklık olan 470°C sıcaklığa tabi tutulmuş fakat bu sefer zaman ilerledikçe ve süre 5 saati geçince çökelti taneleri aşırı kabalaşmış ve sonuç yine mukavemet ve sertliğin düşüşü yönünde olmuştur.

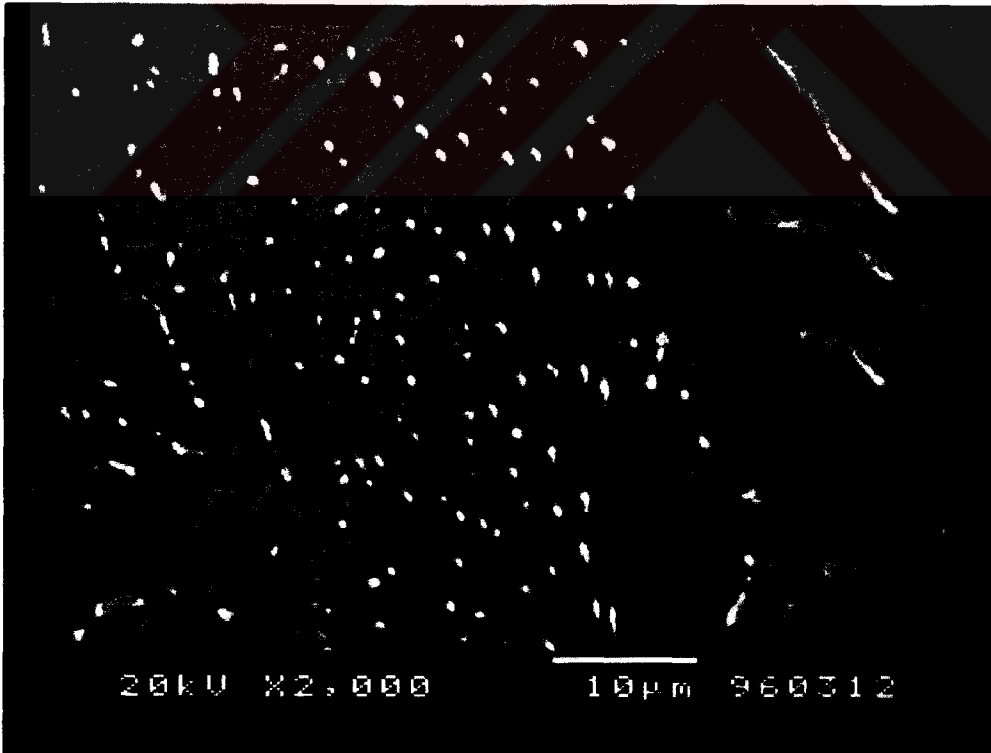
Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27’de 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 7.26 10 numaralı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 7.27 11 numaralı numunenin SEM görüntüsü



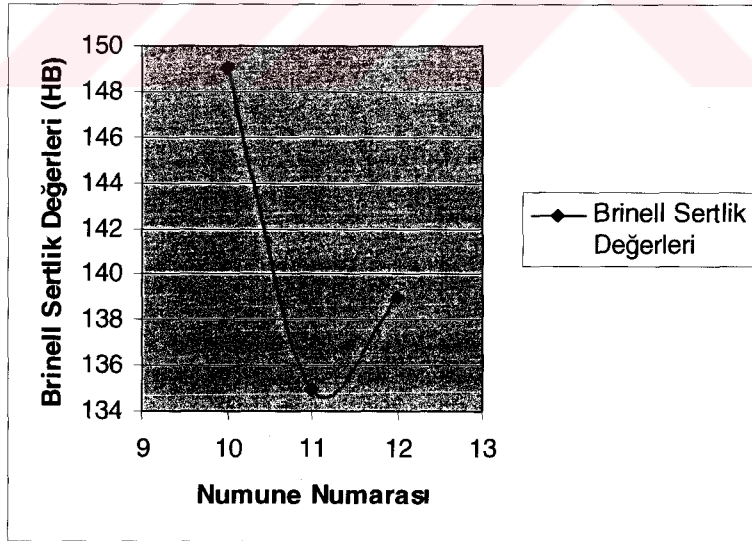
Şekil 7.28 12 numaralı numunenin SEM görüntüsü

10, 11 ve 12 numaralı numunelere bakıldığında 10 numaralı numunenin çökeltilerinin çubuk şeklinde uzadığını ancak 2 saat yaşlandırılmış numuneden çökeltilerin bu şekilde uzayamadıkları aynı şekilde 9 saat aşırı yaşlandırılmış olan on iki numaralı numunede ise aşırı yaşlandırma etkisiyle çubuk şeklini almış olan çökeltilerin parçalanarak yeniden küreselleşmeye başladığı, bunun da sertlik değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

7.4.4.2 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Sertlik Değerleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Çizelge 7.12 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri

Numune No:	Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Su Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Sertlik (HB)
10	1018°C	16°C	470°C	5	149
11	1018°C	16°C	470°C	2	135
12	1018°C	16°C	470°C	9	139



Şekil 7.29 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin Brinell Sertlik değerleri

11 numaralı numunede uygulanan 2 saatlik yaşlandırma süresi içinde ortaya çıkan çökelti miktarı azlığı ve buna bağlı olarak bloke edilemeyen dislokasyon adedinin fazla oluşu nedeni ile sertlik değeri 135HB’de kalmıştır.

10 numaralı numunede ise aynı sıcaklık fakat 5 saatlik bir süre ile uygulanan yaşlandırma sonunda, yeterli çökelti adedi ve bloke edilen dislokasyon adedinin yüksek olmasına bağlı olarak sertlik değeri 149 HB’ye ulaşmıştır.

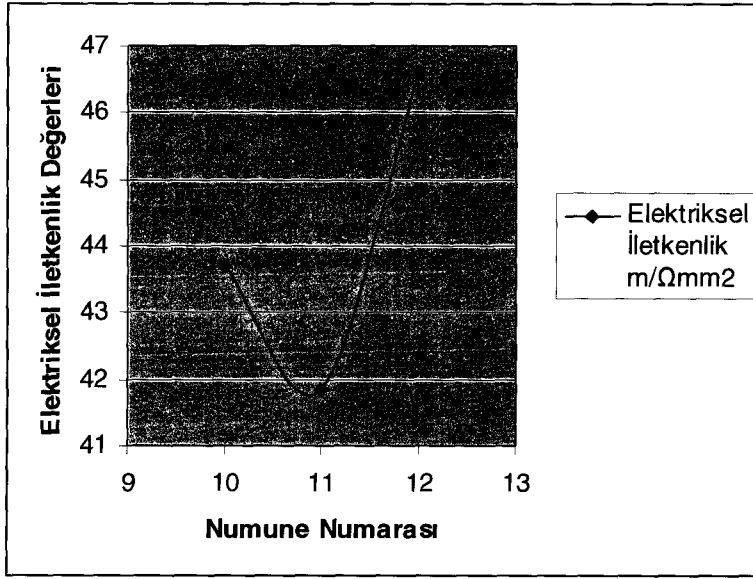
12 numaralı numunede ise yine aynı sıcaklıkta uygulanan 9 saatlik yaşlandırma süresi “Aşırı Yaşlanma” a blokajda tutulan dislokasyon adedini arttırmış ve sertlik değerini düşürmüştür.

7.4.4.3 Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Yaşlandırma Süresinin Elektriksel İletkenlik Değerleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Sırası ile 2, 5 ve 9 saat sürelerle uygulanan yaşlandırma işlemleri sonunda elektriksel iletkenlik değerinin sürekli bir artış trendine girmesi, 7, 8 ve 9 numaralı numuneler için belirtilmiş olduğu gibi metalsel bağlantılı bölgelerin toplam doku içindeki hamsal oranının artmasında açıklanabilir.

Çizelge 7.11 10,11 ve 12 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

Numune Numarası	Elektriksel İletkenlik $m/\Omega mm^2$
10	43,71
11	41,84
12	46,60



Şekil 7.30 10,11 ve 12 numaralı numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri

8. GENEL SONUÇLAR

CuCrZr alaşımları ile ilgili yapılan deneylerde elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Değişik örtü malzemeleri ile yapılan deneylerde en az fire (%10.8 Cr ve %32.5 Zr) verilen örtü malzemesinin boraks-kum- pencere camı kırıntısı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak da yükselen sıcaklıkla akışkan hale gelen cam ve boraksın ergiyik üzerinde iyi bir sır oluşturarak eriyiğin hava ile temasını kesmesi ve katılan kumun akışkan hale gelen cam ve boraksın kolaylıkla ergiyik üzerinden temizlenmesini sağladığı kabul edilmiştir.
- Değişik krom miktarlarına sahip CuCrZr alaşımları birbirleri ile kıyaslandığında en yüksek mekanik özelliklere sahip olanın %1,038 Cr içeren alaşım olduğu görülmüştür. Bu alaşımın sertlik değeri 147 HB ölçülmüştür. Mikro yapılar incelendiğinde de bu numunenin tane boyutunun diğer numunelere nazaran daha çok küçüldüğü, çökeltilerin yapı içerisinde homojen dağıldığı ve tüm yapıda ki tüm bu özelliklerin dislokasyon hareketlerini bloke ederek sertlik değerlerini yükselttiği görülmüştür.
- Değişik zirkonyum miktarlarına sahip CuCrZr alaşımları birbirleri ile kıyaslandığında oda sıcaklığında Zr içeren numunenin sertlik değerinin 147 HB olduğu ancak Zr içermeyen numunenin sertlik değerinin ise 124 HB olduğu görülmüştür. Daha sonra 300°C de 1 saat ve 450°C de 2 saat bekletilen bu numunelerin sertlik değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Ancak burada önemli olan ayrıntı ise çıkılan sıcaklığın dayanım değerlerini düşürmesine rağmen Zr içeren numunenin sertliğinin, Zr içermeyen numunenin oda sıcaklığındaki sertlik değerinden dahi yüksek olmasıdır.
- Yapılan ısıtma işlem deneylerinde çöktürme sertleştirme işleminden sonra CuCrZr alaşımlarının çok yüksek mukavemet değerlerine ulaşarak, saf bakırdan yaklaşık olarak 3 kat daha sert bir malzemeye dönüştüğü, ayrıca ısıtma işlem görmemiş olan numunelere göre elektrik iletkenlik değerlerinde de artış olduğu görülmüştür.
- Çözeltiye alma sıcaklıklarının mukavemet, iletkenlik ve mikro yapıya etkilerinin incelendiği deneylerde ise en yüksek sertlik ve iletkenlik değerlerine ulaşılan sıcaklığın 1018°C olduğu görülmüştür.
- Yaşlandırma sıcaklığının mukavemet, iletkenlik ve mikro yapıya etkilerinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuca göre en uygun yaşlandırma sıcaklığının 470°C olduğu görülmüş, bu sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda malzemede aşırı

yaşlanmış olduğu ve istenilen mukavemet ve iletkenlik değerlerine ulaşamadığı görülmüştür.

- Yaşlandırma süresinin, mukavemet, iletkenlik ve mikro yapıya etkilerinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara göre en ideal yaşlandırma süresinin 5 saat olduğu ve sürenin üzerine çıkıldığında malzemenin dayanım değerlerinde azalma olduğu görülmüştür.
- Soğutma suyunun, mukavemet , iletkenlik ve mikro yapıya etkilerinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlara göre en ideal soğutma suyu sıcaklığının 16°C olduğu görülmüştür.

Yukarıdaki deney sonuçları göz önüne alındığında en ideal CuCrZr alaşımı üretiminin, %1.038 Cr, %0.91 Zr ve %98.75 Cu içeren alaşımı, boraks-kum-pencere camı kırıntısından oluşan örtü malzemesi altında ergiterek gerçekleştirileceği ve daha sonra ergitilip dökülen ve sıcak dövme işleminden geçirilen bu alaşımın 1018°C de çözeltiye alınıp 16°C de su verilerek 470°C de 5 saat boyunca yaşlandırma yapılarak gerçekleştirileceği görülmüştür.

Bu işlemler sonucunda malzemenin sertliğinin 149 HB'ye kadar yükseldiği ve elektriksel iletkenlik değerlerinin 45 mΩ/mm²'ye yükseldiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

A. Cibula "Grain Refinement", Trans. Inst. Brit. Foundrymen, 48, p. A75 (1955)

American Society Of Metals "Properties and Selection", Metals handbook, Vol 1, Metals Park, Ohio. 1973

Batra I.S., Dey G.K., Kulkarni U.D., Banerjee S. (2002), "Precipitation In a Cu-Cr-Zr Alloy", Elsevier Science B.V.

Chandler H. (1992), "Heat Treating Guide, Practices and Procedures for Nonferrous Alloys" A.S.M International Ohio

Çardak G.(2000), "Krom Alaşım Elementinin Bakır Esaslı Direnç Kaynağı Elektrod Malzemesi Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İ. T. Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dion J. L. And Edwards J. O. "Deoxidation of Copper For High-Conductivity Castings" APS Transactions, Vol 91, 309-314, (1986)

Duashevich G., Cvetkovski V. (2002), "Effect of Thermomechanical Treatment on Mechanical Properties and Electrical Conductivity of a Cu-Cr-Zr Alloy", Bull. Material Science Vol 25 Is 1.

Edwards D.J. (2000) "Overaging OF Outokumpu CuCrZr at 600°C", Pacific Northwest National Laboratory and Riso National Laboratory.

Edwards D.J. (2000) "Temperature and Strain Rate Effects In Solution Annealed Cu-Cr-Zr" Pacific Northwest National Laboratory.

Foseco Ltd. (1990), "High Conductivity Copper and Copper Alloys", Information Sheet 43, Tamworth Staffs, London.

Fuxiang H., Jusheng M. (2002), "Analysis of Phases In a Cu-Cr-Zr Alloy", Scripta Materialia Vol 97 Is 102.

Goloveshko V. P. And Sergeen L. N. "Effect of Melting conditions of Chromium Dissolution in Molten Copper", The Soviet Journal of Non-ferrous Metals, 13, (10), 54-56, October (1982)

Gusel L "The Influence of the strain on springback of cold drawn alloy CuCrZr" Mat. And Tech. 34, (1-2), 89-92 ISSN: 1580-2949

Hiroki Nagasawa "Application of Precipitation Hardened Copper to Contact Wire

Ivanov I.S., Nikolaev A.K.(2002), "Effect of Heat Treatments On The Properties of Cu-Cr-Zr Alloys", Journal of Nuclear Materials, Vol 311 Is. 676

Kocabalkanlı A. H. "Dökümlerde Sıcak Yırtılma" Lisans Bitirme Tezi İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fak., Metalurji Müh., 34-39, Eylül (1982)

Lakhtin Y. (1971), "Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment", Mir Publishers in Moscow.

Lin Y. N., Courtney T. H., Stark J. P., Ralls K.M. "The Thermal Stability of the fibrous Copper-Chromium Eutectic", Metallurgical transactions, Vol 7A, September, 1435-1442.

(1976)

Lymann T. (1992), "Metals Hand Book Ninth Edition Vol.2 Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Pure Metals", American Society for Metals, Ohio

Marich S., "Structural Stability of the Rod-Like Iron-Iron Sulphide Eutectic at Elevated Temperatures", Metallurgical Transactions, (1980)

Mihara K., Takeuchi T., Suzuki H.G. (1998), "Effect of Zr on Aging Characteristics and Strength of Cr", Journal of The Japan Institute of Metals.

Miller G. L. (1954), "Metallurgy of the Rarer Metals Zirconium", Academic Pres. Inc. Publishers, London.

Minushkin O. S. "Effect of the melting Process and Cr Content on the properties of Cr Bronze", Tsvet. Met., 16, (6), 130-134 (1983)

Murthy K.S.S (1984), "Melting and Casting of High Conductivity Copper", The British Foundryman Vol 67, Is 335.

P. Allen "Experiments On The Influence Of Gasses On The Soundness Of Copper Ingots", J. Inst. Met., 43, Pp. 81-124 (1930)

P. Liu, B. X. Kang, X.G. Cao, J.L. Huang, B. Yen, H.C. Gu, Mat. Sci. And Eng. "Aging Precipitation And Recrystallization Of Rapidly Solidified Cu- Cr- Zr- Mg Alloy" A265 (1999) 262-267 Mat. Sci. And Eng

R. W. Ruddle "Solidification of Castings" Inst. of Metals, London (1957)

R. W. Ruddle "Rising Copper Alloy Castings", Foundry, 87, p.78 (1960)

Sarıvırt, M. J. Trans. Met. Soc. A.I.M.E., Vol. 218, June 1960 Topbaş M. A. (1992), "Endüstri Fırınları 2. Cilt", Damla Matbaacılık, İstanbul.

Smartt N. B., Courtney T. H. "On the Road to Blade Transition in the Al-Al₃Ni Eutectic" Metallurgical Transactions, Vol 3, 2000-20001 (1982)

Stomakhina T. A., Kudrashova V. E., Strel'tsov F. N., Moldavskiy O. D. "The Nature of Macro Inclusions in Copper-Chromium Alloys", The Soviet Journal of Nonferrous Metals, 12, 8, 68-70, August, (1981)

W. T. Pell-Walpole "Segregation", Metal Treatment, 16, pp.52, 103, 171 (1949)

Villars P., Prince A., Hokamoto A. (1993), "Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams", A.S.M International, Cleveland.

Vlack V. (1975) "Materials Science for Engineers", Addison-Wesley Publishing Company, London.

Internet Kaynakları

[1] <http://www.unr.edu/sb204/geology/civilztn.html>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.08.1979	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1993-1996	Adana Kurttepe Anadolu Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Üretim Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2001-devam ediyor YTÜ Kimya – Metalurji Fakültesi Araştırma Görevlisi

