

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KURŞUNLU PİRİNÇLERİN SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE
DÖKÜM ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Mustafa Ecevit DUZMAN

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Dç.Dr.Tanla ABKAN (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. PİRİNÇLER.....	3
2.1 Bakır-Çinko Denge Diyagramının İncelenmesi.....	3
2.2 Pirincin Isıl İşlem Diyagramı.....	9
2.3 Mühendislik Uygulamalarında Pirinçler.....	11
2.4 Pirinç Çeşitleri.....	13
2.5 Pirincin Yapısına Etki Eden Parametreler.....	13
2.5.1 Sıcaklık ve Alaşımın Çinko Yüzdesi	13
2.5.2 Malzemenin Soğuma Hızı.....	14
2.5.3 Alaşım Elementlerinin Etkileri	14
2.5.3.1 Kurşunun Pirince ve Talaşlı Şekillendirme Davranışına Etkisi.....	21
2.5.3.2 Kurşunlu Pirinçlerde dövme.....	27
2.5.3.3 CuZn39Pb3 (C38500) Kurşunlu Pirince Kimyasal Kompozisyonun Etkisi	28
2.6 Pirincin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	30
2.7 İlgili Standartlar.....	34
3. SÜREKLİ DÖKÜM.....	35
3.1 Bakır Alaşımı Takozların Yatay Sürekli Dökümü.....	35
4. KURŞUN KATKILI %60 BAKIR-%40 ÇİNKO İÇEREN PİRİNÇ TAKOZLARIN YATAY SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ.....	49

4.1	Dökümlerin Yapısı.....	49
4.2	Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirinç Takozların Üretimi.....	51
4.2.1	İlk Katılaşma Süreci.....	52
4.2.2	Döküm Sıcaklığı, Döküm Hızı ve Soğuma Etkilerinin İncelenmesi...	55
4.2.3	Döküm Kalitesiyle İşletme Parametrelerinin İlişkisi.....	56
4.2.4	Grafit Kokile Etki Eden Faktörler.....	57
4.2.5	Takozun Kabuk Kalınlığının Önemi.....	58
4.2.6	Maksimum Sürekli Döküm Çekme Hızı ve Bağlı Olduğu Kriterler.....	59
4.3	Kıurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Princinin Katılaşma Davranışı.....	61
4.4	Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Princinde Segregasyon Beklentisi...	62
4.5	Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirincinin Ergitilmesi.....	64
4.5.1	Pirinç Takoz Üretimini Etkileyen Ergitme Parametreleri.....	64
4.5.2	Ergitme Pratiği.....	65
4.5.3	Bazı Elementlerin Pirincin Döküm ve Malzeme Özelliklerine Etkileri...	70
4.6	Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirinç Takozlarda Oluşan Hata Tipleri...	70
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR ÖNCESİ BAZI MATEMATİKSEL HESAPLAMALAR.....	77
5.1	Mikroporozite Oluşmasında Dahili Basınç Hesaplamaları.....	77
5.1.2	Ergiyik Pirinç Alaşımı İçerisinde Kurşun Çökelme Hızı (V) Hesaplamaları.....	78
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	83
6.1	Deneyin Amacı.....	83
6.2	Deneyisel Çalışmaların Yürütülmesi.....	83
6.3	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	88
6.3.1	Pirinç Takoz Makroyapısının Literatür ile Kıyaslanması.....	88
6.3.2	Farklı Soğutma Kapasitelerinde Alınan Takoz Makroyapılarının Karşılaştırılması.....	89
6.3.3	Takoz Mikroyapılarının Karşılaştırılması	90
6.3.4	Dallantılararası Uzaklıkların Belirlenmesi.....	92
6.3.5	Kurşun Tane Boyutunun Belirlenmesi.....	93
6.3.6	Mekanik Özelliklerin Tane Yapısı ile Değişiminin İncelenmesi.....	95
6.3.7	Çekme Testi Numunelerinde Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	97
6.3.8	İçyapıda Mikrosegregasyon ve Makrosegregasyon.....	98
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	100
	KAYNAKLAR	102
	EKLER	107
	ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGE LİSTESİ

$\alpha, \beta, \beta', \gamma, \varepsilon, \delta$	Kafes Parametreleri
g	Sürekli döküm makinasının çalıştığı ortamdaki yer çekimi ivmesi
D	Dökümün dış çapı
ρ_r	Malzemenin döküm sıcaklığındaki yoğunluğu
X	Malzemenin katılaşmış kabuktaki ısı iletim katsayısı
t_r	Malzemenin ergime sıcaklığı
t_k	Malzemenin kabuk sıcaklığı
r	Malzemenin ergime ısısı
ρ_k	Malzemenin kabuk sıcaklığındaki yoğunluğu
δ_s	Dökümün kalıbı terk ettiği noktadaki kabuk sıcaklığına denk gelen malzeme çekme mukavemeti değerleri
V	Çökelme hızı
r	Kurşun küreciklerinin yarıçapı
ρ	Kurşunun yoğunluğu
σ	Sıvı pirincin yoğunluğu
μ	Sıvı pirincin viskozitesi
g	Yerçekimi ivmesi
t_m	Ergime noktası
P_m	Kurşunun veya pirincin sıvı haldeki yoğunlukları
k	Sabit
t	Yoğunluğunu bulmak istediğimiz sürekli döküm sıcaklığı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternating Current
AC+EMCC	Alternatif Akım Uygulanan Elektromanyetik Sürekli Döküm
CREM	Elektromanyetik Proses
DAB	Deutsches Arzneibuch, German Dispensatory
EMC	Elektromagnetic casting
EMCC	Elektromagnetic continuous casting
EPA	Environmental Protection Agency
EU	European Union
KYM	Kübik yüzey merkezli
KHM	Kübik hacim merkezli
LDM	Lips Drunen Metal
NSF	National Science Foundation
WHO	World Health Organization
SDWA	Safe Drinking Water Act

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Bakırda artan çinko içeriği ile renk değişimi.....	3
Şekil 2.2	Pirinç malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerinin artan çinko miktarı ile değişimi	4
Şekil 2.3	Pirinç malzemelerin elastisite ve kayma modülünün artan çinko miktarı ile değişimi.....	4
Şekil 2.4	Pirinç malzemelerin elektrik direnci ve ısı iletiminin artan çinko oranı ile değişimi.....	5
Şekil 2.5	α -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve kym kafes yapısı.....	6
Şekil 2.6	β -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve khm kafes yapısı.....	6
Şekil 2.7	γ -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve heksagonal kafes yapısı.....	6
Şekil 2.8	β' fazında kafes konumu içinde Cu ve Zn atomlarının özel pozisyonu	7
Şekil 2.9	Cu-Zn alaşımlarında düzensiz β' dan düzenli β'' ne dönüşümü gösteren şematik mekanizma.....	8
Şekil 2.10	Cu-Zn denge diyagramı.....	9
Şekil 2.11	CuZn39Pb3 pirincinin özelliklerine sıcaklığın etkileri.....	10
Şekil 2.12	Bakır-Çinko denge diyagramı üzerinde pirinçlerin mühendislik uygulama sahalarının gösterimi.....	11
Şekil 2.13	Bazı elementlerin bakırın kritik kayma gerilmesine etkisi.....	16
Şekil 2.14	Bakırın kritik kayma gerilmesine çinko içeriğinin etkisi.....	16
Şekil 2.15	Sülfür ve Tellür'ün malzemenin matkaplanabilirliğine etkileri.....	22
Şekil 2.16	%63–65 Cu içeren pirinç alaşımlarında kurşun içeriğine bağlı olarak malzemenin işlenebilirliği.....	23
Şekil 2.17	Kurşun içeriği (%0.95–2.46) olan pirinçler 7.1 ve 6.2 sınıf talaş tipi sergiler.....	24
Şekil 2.18	Pirinç malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine bakır ve kurşunun etkisi.....	25
Şekil 2.19	Bakır-Kurşun denge diyagramı.....	26
Şekil 2.20	Çözünmeden yapıya dağılan kurşun kürecikleri.....	26
Şekil 2.21	CuZn39Pb3 ve CuZn40Pb2 alaşımlarından üretilen parçalara örnekler.....	33
Şekil 3.1	The Pori Works'un indüksiyon fırını a) Çalışma pozisyonu ve b) Kalıp değişim pozisyonu.....	35
Şekil 3.2	Outokumpu Copper LDM B.V. yatay sürekli döküm ünitesi ve yeni devreye alınan takoz kesim testere makinası.....	36
Şekil 3.3	“Dur ve çek” hareketinden oluşan çekme periyodunda takoz hareketi ve kabuk oluşumu.....	37
Şekil 3.4	İki farklı yatay sürekli döküm kalıp ve takoz çekme hareketi.....	38
Şekil 3.5	Computocast sisteminin fabrika yatay konum şeması.....	39
Şekil 3.6	Computocast sisteminin geri çekme hareketi.....	39
Şekil 3.7	Hom-Tec sisteminin fabrika yatay konum şeması.....	40
Şekil 3.8	Hom-Tec sisteminin geri çekme hareketi.....	40
Şekil 3.9	Geleneksel tutma fırını.....	41

Şekil 3.10	Basınç kontrollü tutma fırını.....	42
Şekil 3.11	Basınç kontrollü tutma fırınında sabit kalıp düzenlemesi.....	43
Şekil 3.12	Pirinç takozların yatay sürekli dökümünde kalıp düzeneği.....	45
Şekil 3.13	Elektromanyetik alanlar altında bakır takozların sürekli döküm şeması.....	47
Şekil 3.14	SMS Meer GmbH tarafından üretilmiş pirinç takozun makroyapısı	48
Şekil 4.1	Katılaşma esnasında ingot yapısının oluşması.....	50
Şekil 4.2	Pirinç takozların yatay sürekli dökümü.....	52
Şekil 4.3	Sıvı pirincin grafit kalıp içerisindeki katılaşma adımlarını gösterir şema.....	52
Şekil 4.4	Uniform ve uniform olmayan hava boşluğu oluşumu.....	53
Şekil 4.5	Farklı döküm hızlarında takozun katılaşması.....	54
Şekil 4.6	Katılaşma hızı ve tane boyutu değişimi.....	54
Şekil 4.7	İnce ve kalın kabuk kalınlığına sahip takozların ekstrüzyon sırasındaki performansları.....	58
Şekil 4.8	Sürekli döküm kokilinde takozun katılaşma süreci.....	59
Şekil 4.9	CuZn39Pb3 pirincinde kurşun segregasyonu.....	62
Şekil 4.10	Ergitme ocağı şarj malzemeleri.....	65
Şekil 4.11	Bazı pirinçlerde çinko buharlaşma sıcaklıkları ve basınçları.....	68
Şekil 4.12	Pirinç takozda iç kusurlar.....	72
Şekil 4.13	Pirinç takozda yüzey ve yüzey altı kusurları	73
Şekil 4.14	Üretim aşamasına bağlı olarak takoz, ekstrüzyon çubuğu ve son ürün çubukta oluşabilecek malzeme kusurları.....	74
Şekil 4.15	Takozun yüzey altı katmanında kabarcık oluşumunu azaltması tasarlanan çekme hareketi süreci.....	75
Şekil 5.1	AP dahili basıncı.....	77
Şekil 5.2	Isıda tutma ocağında kurşun küreciklerinin çökme mesafeleri.....	81
Şekil 6.1	Kesikli sürekli döküm hareketi bir döküm periyodu ilerlemesi ve süresinin literatür (Brey, 2001) ile kıyaslanması: Solda deney takozlarının alındığı çekme hareketi sağda literatürde tanımlanan çekme hareketi.....	85
Şekil 6.2	Tornada yüzeyleri parlatılan numune takozlar (x5.8 küçültme).....	85
Şekil 6.3	Numune takozlara uygulanan zımparalama ve dağlama işlemleri.....	86
Şekil 6.4	Mikroyapı numunelerinin hazırlandığı disk ve görüntülendiği ışık mikroskobu.....	86
Şekil 6.5	Çekme testi makinası.....	87
Şekil 6.6	Taramalı elektron mikroskobu (JEOL JSM 5410 LV Scanning Microscop).....	87
Şekil 6.7	Sürekli döküm ürünü pirinç takoz makroyapılarının kıyaslanması (x4.8 küçültme).....	88
Şekil 6.8	Sürekli dökümde farklı soğutma kapasitelerinde alınan pirinç takozların makroyapıları (x4.3 küçültme).....	89
Şekil 6.9	35 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulan pirinç takozun a) Eşeksenli tane yapısı (sağda, x200) b) Kolonsal tane yapısı (solda, x200).....	90

Şekil 6.10	20 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulan pirinç takozun a) Eşeksenli tane yapısı (sağda, x200) b) Kolonsal tane yapısı (solda, x200).....	91
Şekil 6.11	35 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulan pirinç takozun dallantılararası mesafeleri (x200).....	92
Şekil 6.12	20 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulan pirinç takozun dallantılararası mesafeleri (x200).....	92
Şekil 6.13	20 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskobuyla kurşun tanelerinin belirlenmesi (x1500).....	93
Şekil 6.14	20 m ³ s ⁻¹ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskobuyla kurşun tane boyutunun belirlenmesi (x1500).....	94
Şekil 6.15	35 m ³ .s ⁻¹ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskobuyla kurşun tanelerinin belirlenmesi (x1000).....	94
Şekil 6.16	35 m ³ .s ⁻¹ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskobuyla kurşun tane boyutunun belirlenmesi (x1000).....	95
Şekil 6.17	Çekme testi numunelerinin alındığı tane yapısı farklı bölgeler (x3.8 küçültme).....	96
Şekil 6.18	Tane yapısı farklı bölgelerin çekme testi sonuçları.....	96
Şekil 6.19	Kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu altında görüntüsü (x1000).....	98
Şekil 6.20	Sürekli döküm ürünü pirinç takoz mikroyapısında; solda dallantılı yapıda mikrosegregasyon (x100) ve sağda pirinç takoz tabanında kurşun çökeltisi (x100).....	98

Çizelge 2.1	Bakır çinko alaşımlarının ergime veya solidüs sıcaklığının artan artan çinko miktarı ile değişim.....	3
Çizelge 2.2	Cu-Zn alaşımlarının kristal yapıları.....	7
Çizelge 2.3	Çeşitli elementlerin bakır içerisinde maksimum çözünürlükleri ve yaklaşık atom çapı boyut farkları.....	15
Çizelge 2.4	Pirinçte çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelilerinin çinko yüzdesinde sağladığı artış.....	15
Çizelge 2.5	Özelliklerini geliştirmek için pirince eklenen elementler.....	18
Çizelge 2.6	Çevreci pirinç (EnviroBrass) alaşımlarının işlenebilirlik oranı.....	20
Çizelge 2.7	Çok yaygın olarak kullanılan serbest kesme pirinçleri.....	27
Çizelge 2.8	Genel olarak sıcak dövme için bazı alaşımların tavsiye edilen sıcaklıkları.....	28
Çizelge 2.9	Ağır metallerle ilgili içme suyu standardı.....	31
Çizelge 2.10	Çevreci pirinç (EnviroBrass) alaşımları C89510, C89520 C89550 ‘nin kompozisyonları.....	32
Çizelge 2.11	Asarco firmasının patentini elinde bulundurduğu bizmut-selenyum (Enviroloy) kompozisyonun analizi.....	33
Çizelge 4.1	Ergitme ocağına şarj edilen külçe kurşun, külçe çinko ve pirinç talaşının analizi.....	66
Çizelge 5.1	50 μ ve 100 μ yarıçaplı kurşun küreciklerinin ergiyik pirinç alaşımı içerisinde 70 cm, 140 cm, 165 cm ve 185 cm’den çökelmeleri için geçen süreler.....	82
Çizelge 6.1	CW 614N (CuZn39Pb3) pirinci ile mevcut çalışmadaki sürekli dökümden elde edilen takozların kimyasal analizi.....	84
Çizelge 6.2	Sürekli döküm sırasında pano değerleri ve sürekli döküm çekme periyot hızı.....	84
Çizelge 6.3	Sürekli döküm sırasında ergiyik metalin sıcaklığı ve soğutma suyunun değerleri.....	84
Çizelge 6.4	Şekil 6.17’den elde edilen çekme değerleri.....	96

ÖNSÖZ

Dar katılaşma aralığına sahip, Kurşun katkılı Alfa/Beta pirinçlerinin yatay sürekli takoz dökümünü, dökümü etkileyen faktörler irdelenerek, bütün otomat pirinçleri takoz dökümcülerinin faydalanabileceği bir kararlılığa getirebilmek amacıyla gerçekleştirilen ‘‘Kurşunlu Pirinçlerin Sürekli Dökümünde Döküm Özelliklerinin İyileştirilmesi’’ başlıklı Yüksek Lisans Tezimin zorlu ama zevkli hazırlanma sürecinde bana her türlü desteğini karşılıksız sunan; en başta bu konuyu özgür irademle seçmemi sağlayan Sayın Bölüm Başkanımız Prof.Dr. Ahmet EKERİM’e, Sayın Prof.Dr. Mahmut Ahsen SAVAŞ’a, Sayın Yrd.Doç.Dr. Tanla ABKAN’a, saha çalışmalarımda bana desteğini veren başta Sayın Baha ÇAKIROĞLU ile lab.sorumulusu Sayın Met.Müh.Rahşan Gür DEMİRKIR olmak üzere tüm Pireks Bakır Alaşımları San.ve Tic.A.Ş ailesine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sevgili annem ve kardeşime ayrıca teşekkür etmek istiyorum.

En özel teşekkür, her şeyden önce gösterdiği sabır ve verdiği destek için eşime...

ÖZET

Pirinçler %40 dolaylarına kadar çinko içeren bakır-çinko alaşımlarıdır. %35 – 40 Zn içeren, içyapıları $\alpha+\beta$ fazlarından oluşan alfa/beta pirinçleri ekstrüzyon dâhil, mükemmel bir sıcak şekil verilebilirlik ortaya koyarlar. Çoğunlukla %4'den az Pb katkılı, talaşlı imalata uyarlanmış ve bu yüzden otomat pirinçleri olarak anılan $\alpha+\beta$ pirinçlerinde kolay talaş kaldırma yeteneği ve yüzey kalitesi yükselirken, kesme takımının aşınması ve kesme kuvveti gereksinimi azalır. Sıcak ekstrüzyonda kullanılan takozlar çoğunlukla yatay sürekli döküm yöntemi ile elde edilirler. Sürekli döküm ile elde edilen 140 mm ve 230 mm çaplı kurşun katkılı pirinç kütüklerden kesilen takozlar sıcak direkt ekstrüzyon yöntemiyle çeşitli çap ve boyutlarda çubuk, profil ve içi boş çubuklara dönüştürülmektedir. Takoz kalitesi ardından gelen tüm üretim yöntemlerindeki malzeme davranış ve kusurlarını etkilemektedir. Takoz kalitesi ise ergitme ve bekletme ocaklarındaki işlemler ile sürekli döküm aşamasının tümünden etkilenmektedir. Bu çalışma üretim yöntemi↔içyapı↔malzeme özellikleri bağlantısı çerçevesinde planlanmıştır. Elde edilen takozlardaki tane yapısı ve dağılımları literatür ile kıyaslanmış ve uyumlu bulunmuştur. Aynı takozda zar, kolonsal taneler ve eşeksenli bölgelerden alınan numunelerde çekme ve kopma mukavemetleri ile kopma uzamalarındaki farklılıklar belirlenmiştir. Yüksek ve izotop mekanik özellikler sağlayan ince, eşeksenli tane yapısı dolayısıyla ekstrüzyon öncesi tavlama süresinin de kısaltması beklendiğinden, söz konusu tane yapısını sağlayacak döküm parametreleri irdelenmektedir. Bu kapsamda, soğutma suyu kapasitesinin yükseltilmesi eşeksenli bölgeyi genişletmiş ve kolonsal taneleri inceltmiştir. Döküm kalitesindeki bu iyileşme mukavemet ve süneklik değerlerini de yükseltmiştir. Ayrıca, mikro ve makrosegregasyon etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pirinç, Sürekli Döküm, Yapısal Özellikler.

ABSTRACT

Brasses are copper alloys containing up to %40 of Zn. Alpha/beta brasses which contain %35-40 of Zn and consist of $\alpha + \beta$ phases offer excellent hot formability including extrusion. Alpha/beta brasses including less than %4 of Pb which is called free cutting brasses, have excellent machinability, reduced cutting tool wear and cutting power requirement. Billets that are used in hot extrusion are usually produced by horizontal continuous casting. The billets including Pb produced by horizontal continuous casting that is 140 mm and 230 mm of diameter are turned into rods, profiles and hollow bars in various diameter and size by hot extrusion. The quality of billet effects behaviour and defects of material in all following production steps. Depending on this the quality of billet is affected by operations in melting and holding furnaces and all steps of continuous casting. This study was planned in framework of relations between manufacture method ↔ internal structure ↔ properties of material. Grain structure and its dispersion that were obtained in billets were compared to literature and found compatible. The differences among tensile strength, rupture strength and rupture elongation were determined in samples taken from the zone of columnar grain and equiaxial of the same billet. Due to equiaxial grain structure that provides high and isotop mechanical properties, since it is expected to become shorter annealing time before extrusion, the casting parameters that are expected to provide mentioned grain structure were assessed. In this context increasing cooling water capacity expanded coaxial zone and made columnar grain thinner. This development in casting quality increased values of strength and ductility. Furthermore the effects of micro and macro segregation were examined.

Key Words: Brass, Continuous Casting, Structural Properties.

1. GİRİŞ

Pirinçler başlıcaları; yüksek dayanım ve iyi yorulma direnci, süneklik, fabrikasyon kolaylığı, doğal ve ekonomik olarak kullanım önceliği veren mükemmel korozyon direnci, iyi işlenebilirlik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği ve elektrik ekipmanlarının üretimi için ideal bir tercih haline getiren korozyon direnciyle kombine edilmiş yüksek iletkenlik olan pek çok özelliğinin eşsiz kombinasyonlarıyla çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. 1984 yılından bu yana faaliyet gösteren Pireks Bakır Alaşımları Sanayi ve Ticaret A.Ş. halen İstanbul Hadımköy'deki tesislerinde yıllık 25.000 ton kapasite ile kurşun katkılı pirinç çubuk ve boru imalatını sürdürmektedir. Söz konusu yarı mamuller gaz armatürleri, kolektör, sıhhi tesisat, kapı kilit ve anahtarları ve bazı otomotiv parçaları, elektrik endüstrisinin ihtiyaç duyduğu pek çok parça gibi son ürünler için temel girdilerdir. Sürekli döküm ile elde edilen 140 mm ve 230 mm çaplı kurşun katkılı pirinç kütüklerden kesilen takozlar sıcak direkt ekstrüzyon yöntemiyle çeşitli çap ve boyutlarda çubuk, profil ve içi boş çubuklara dönüştürülmektedir. Yaygın olarak Ms58 adıyla bilinen CuZn39Pb3 ve CuZn40Pb2 malzemeden üretilen bu yarı mamüller, son ürün olarak kullanılabilmeleri için, dövme ve işleme operasyonları da görürler. Takım aşınmasını ve kesme kuvvetlerini azaltan, talaş kopmasını kolaylaştıran ve üretilebilirliği arttıran başarılı bir işleme operasyonu, bu malzemelerin sağladığı en büyük özelliktir. Bunun elbette ki takoz döküm yapısı ile de yakından ilgisi vardır. Artık müşterilerden üreticilere gelen talepler, sadece üretim ücretlerinin düşürülmesi ile ilgili değil malzeme mekanik özellikleri ve mikroyapısının da geliştirilmesi yönünde yoğun çaba sarfedilmesi gerektiğini göstermektedir. Takoz kalitesi ardından gelen tüm üretim yöntemlerindeki malzeme davranış ve kusurlarını etkilemektedir. Takoz kalitesi ise ergitme ve bekletme ocaklarındaki işlemler ile sürekli döküm aşamasının tümünden etkilenmektedir. Üretilebilirliği kolaylaştıran ve son üründe arzu edilen mekanik özellikleri sağlayan bir takoz döküm kalitesi için kurşunun küçük ve iyi dağılımıyla desteklenmiş yüksek ve izotop mekanik özellikler sağlayan ince, eşeksenli tane yapısı hedef olmalıdır. Garcia vd. (2009), kurşunlu pirinçlerin işlenebilirliğini etkileyen parametreleri incelediklerinde; kurşun küreciklerinin düzgün ve daha küçük dağılımının soğuma hızının bir fonksiyonu olduğunu ve kurşunun segregasyon problemine de bir çözüm getirerek başarılı bir işlenebilirliğe ulaşmakta önemli bir rol oynadığını, Pantazopoulos ise 2002'de yaptığı çalışma ile başarılı bir

işleme operasyonuna imkan verecek kurşun küreciklerinin tane boyutunun $5 \mu\text{m}$ dan daha az olmasının gerektiğinin altını çizdiler. Elektromanyetik karıştırma uygulaması da homojen ve iyi tane yapısına neden olarak, kurşunun takoz mikroyapısındaki segregasyon probleminin çözümüne katkı sağlar. Getslev (1971), Vives (1989), Xintao, vd. (2007), Zhiming, vd. (2008), Yu vd., (2009) bakır takozların yatay sürekli dökümü boyunca, kalıp dışarısında uyguladıkları alternatif manyetik alan ile ergiyikte bir elektromanyetik alan oluşturarak takozların homojen olmayan sütünsal tane yapısını, homojen eşeksenli tane yapısına dönüştürmeyi başardılar. Döküm hızı, döküm sıcaklığı ve soğutma şiddetinin alternatif manyetik alanın etkinliğine etkileri olduğunu da gözlemlediler.

Arzu edilen ve deney çalışmalarımızın amacını oluşturan hedef takoz döküm yapısına ulaşabilmek, ancak su soğutmalı grafit kalıbın içerisinde takozla uygulanacak yüksek soğutma kapasiteleriyle mümkün olacaktır. Su soğutmalı sürekli döküm kalıbında su 6 bar basınçla pompalanmış ve birinci takoz saatte 20 m^3 , ikinci takoz ise saatte 35 m^3 su ile soğutulmuştur. Sürekli döküm takozlar makro ve mikro yapılar açılarından incelenmiş, literatür ile kıyaslanmış ve döküm parametreleri ile ilişkilendirilmiştir. Mekanik özelliklerin söz konusu döküm parametrelerinden ve ortaya çıkan malzeme yapısından nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Hedeflenen çekme özelliklerinin hangi tür takoz yapısına denk geldiği ve söz konusu takoz yapısının hangi sürekli döküm parametresinin hangi değerlerde tutulması ile ulaşılabilceği incelenmiştir.

2. PİRİNÇLER

2.1 Bakır-Çinko Denge Diyagramının İncelenmesi

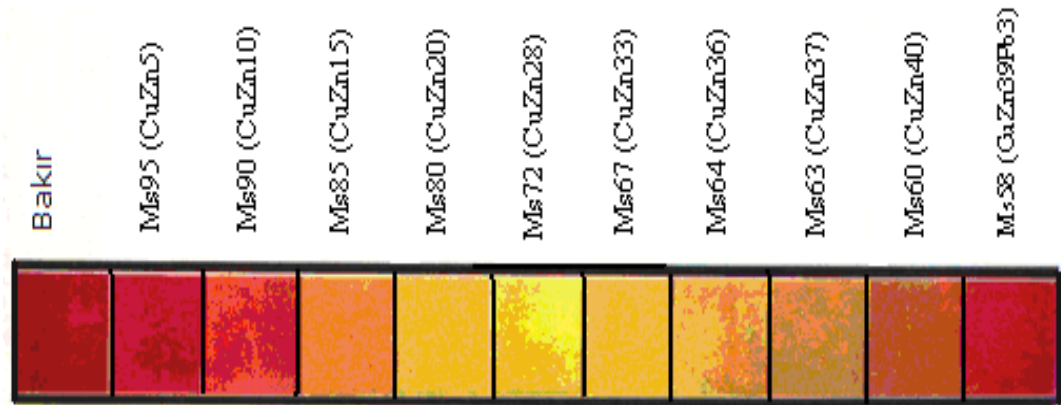
Pirinçler %40 dolayına kadar Zn içeren bakır-çinko alaşımlarıdır. Kolay işlenebilirliği, yüksek korozyon direnci ve güzel görünüşleri nedeni ile pirinçler en önemli alaşım gruplarından biri olarak karşımıza çıkar. Şekil 2.10'daki bakır-çinko denge diyagramında $\alpha + \beta$ bölgesi ve faz dönüşümünü veren soğutma rotası görülmektedir. Dikkat edilmelidir ki faz sınırları sabit değildir; sıcaklık ve kompozisyonla değişmektedir. Çinko yüzdesi ile birlikte pirincin özellikleri de değişir (Erdoğan, 2001).

Çinko yüzdesindeki artışla bakır-çinko alaşımlarının ergime noktası düşer.

Çizelge 2.1 Bakır çinko alaşımlarının ergime veya solidüs sıcaklığının artan çinko miktarı ile değişimi (Meran, 2001).

I	% 0 Zn	% 10 Zn	% 20 Zn	% 30 Zn	% 40 Zn	% 50 Zn	% 60 Zn	% 70 Zn	% 80 Zn	% 90 Zn	% 100 Zn
ERGİME VEYA SOLIDÜS SICAKLIĞI (°C)	1083	1040	995	930	900	880	820	780	700	580	419

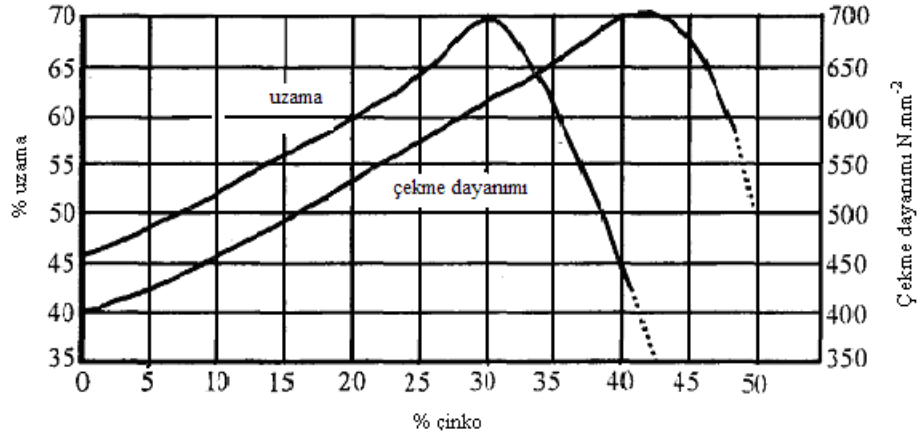
Çinkonun küçük miktarlarının bakıra eklenmesiyle α sembolü ile belirlenen bir katı çözelti biçimlenir. α -fazı olarak adlandırılan KYM (Kübik Yüzey Merkezli) kristal yapılı bu fazın rengi bakırdaki çinko yüzdesi ile birlikte kırmızıdan sarıya dönüşür.



Şekil 2.1 Bakırda artan çinko içeriği ile renk değişimi (Eickhorn, 1966).

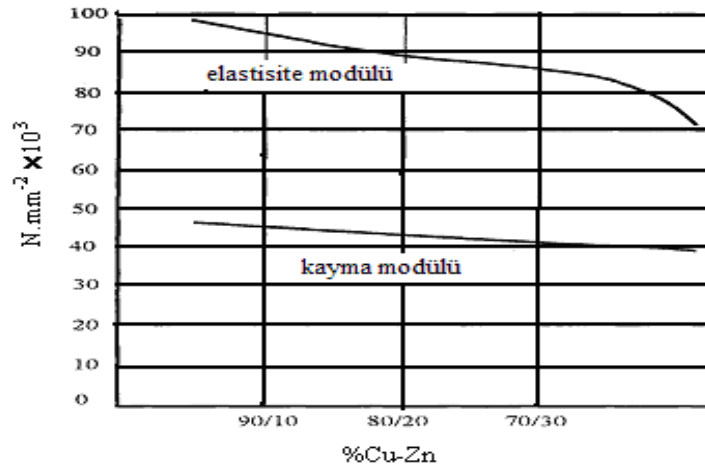
Bakıra %10 çinko ilavesi bronz renginin, %15 ilave altın renginin , %20–38 ilave ise sarı renginin oluşmasına neden olur ve yaklaşık %20 Zn'den sonra önemli bir renk değişimi oluşmaz. Dilimizde yaygınlaşmış sarı tanımı ise gerçekte %33 Zn içeren pirinçler için kullanılmış bir Amerikan terimidir (Erdoğan, 2001).

α -fazı bölgesinde artan çinko yüzdesi ile birlikte pirincin çekme mukavemeti ve sertliği hafif, sünekliği daha fazla artar. α -fazı iyi mukavemet ve süneklik özelliklerini bir arada bulundurmaktadır. α -pirinci kolayca soğuk işleme tabi tutulabilir ve kym yapıya sahip olması dolayısıyla talaşsız olarak imal edilebilir. En yüksek deformasyon %28 çinko içeren pirinçte görülmektedir. %70 bakır %30 çinko bileşiminde süneklik bir maksimuma ulaşır (Gürleyik, 1988).



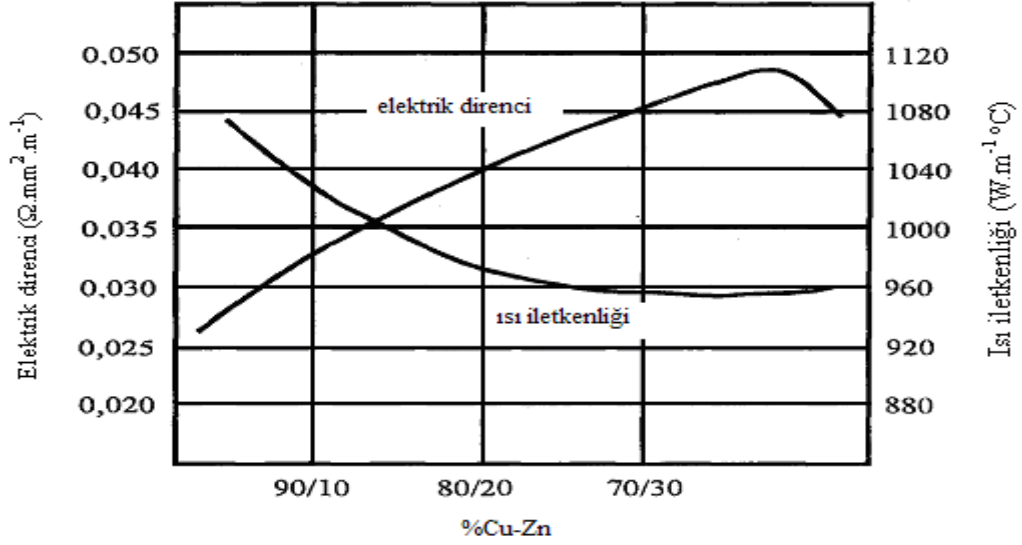
Şekil 2.2 Pirinç malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerinin artan çinko miktarı ile değişimi (Oğuz, 1990).

Diğer mekanik özelliklerden elastisite modülü artan çinko miktarı ile önemli bir ölçüde düşerken, kayma modülü yine artan çinko miktarı ile daha az bir düşüş göstermektedir (Meran, 2001).



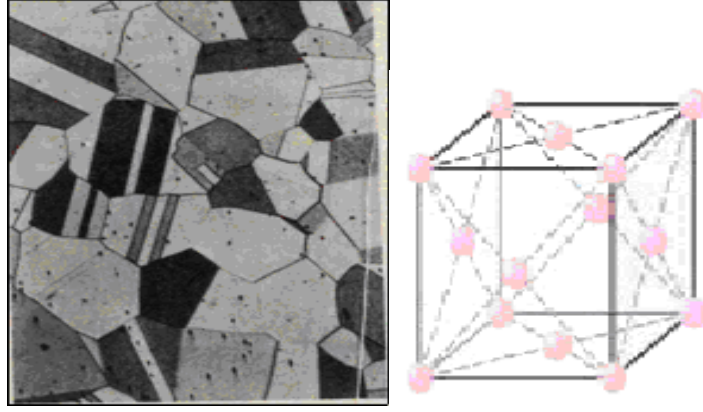
Şekil 2.3 Pirinç malzemelerin elastisite ve kayma modülünün artan çinko miktarı ile değişimi (Meran, 2001).

Alaşım içindeki çinko miktarının artmasıyla malzemenin elektrik direnci artarken, ısı iletkenliği ise dūřmektedir (Meran, 2001).

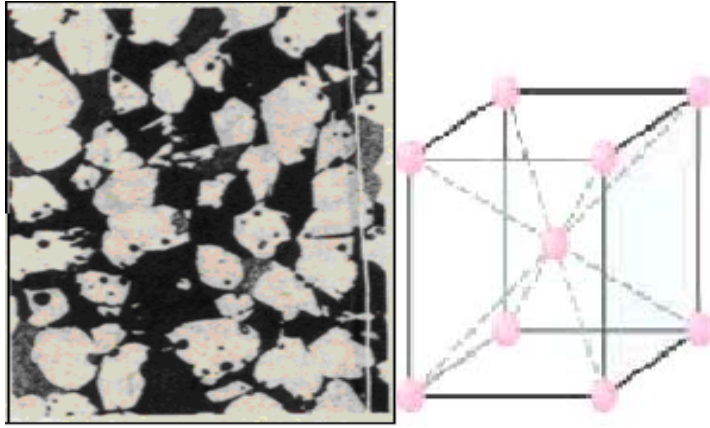


şekil 2.4 Pirinç malzemelerin elektrik direnci ve ısı iletiminin artan çinko oranı ile değişimi (Meran, 2001).

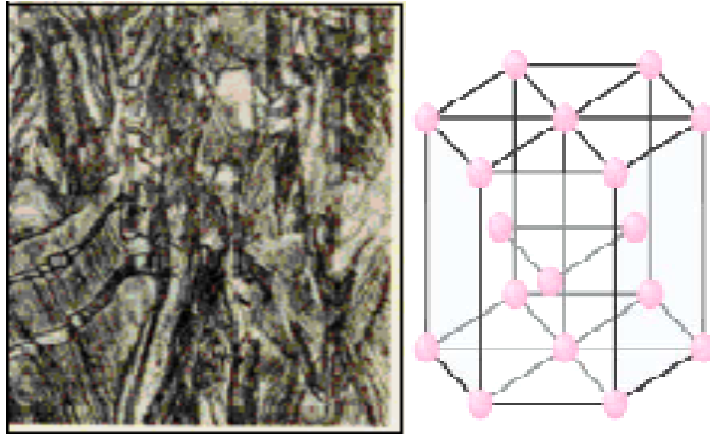
Elektrik iletkenliği ise %40 Zn'ye ulaşıldığında saf bakırınkine göre %60 azalır. Çinkonun daha fazla eklentileri β olarak isimlendirilen tamamen farklı bir kristal yapısı üretmeden önce α -fazı, 456 $^\circ\text{C}$ 'de ağırlıkça en çok %39'e kadar Zn içeren bir kompozisyonun varlığına eşlik eder. 903 $^\circ\text{C}$ 'de çinko nrllğ %32,5 iken, 456 $^\circ\text{C}$ 'de %39 değerine yükselir. Bileşimi %39'dan az çinko içeren pirinçlerin yapısı yalnız ve yalnız α -fazı'ndan oluşur. %39 Zn dolayında çinkonun bakır içerisinde β -fazı olarak adlandırılan KHM (Kübik Hacim Merkezli) kristal yapılı ikinci bir katı eriyiği oluşur. β -fazı, α -fazına nazaran daha sert, güçlü ve kırılğandır. Bu yüzden, ağırlıkça %39–47 Zn içeren bir kompozisyon aralığında β -fazının oluşması ile birlikte pirinç alaşımında çekme mukavemeti ve sertlik artar, çekme mukavemetini hızlıca bir maksimum noktaya yükseltir ancak süneklik azalır, uzamada dikkat çekici bir dşe neden olur. Bu yüzden β -pirinçleri yüksek çekme mukavemetinin gerekli olduğu uygulamalar için uygundur ama 450 $^\circ\text{C}$ 'nin aşağısında oldukça kötü olan sünekliliği yüzünden sıcak işlenmek zorundadırlar (Erdoğan, 2001). β -pirinci sıcak işleme kabiliyeti en yüksek olan pirinç türüdür. Ağırlıkça %47–51 arasında Zn içeren bir kompozisyon olarak saf β -fazı içeren pirinç en yüksek mukavemete sahiptir. Yaklaşık %50 Zn içeren bir pirincin yapısı, yüksek sıcaklıklardan birden soğutulduğunda, %100 β -fazı'ndan oluşabilir. Çinko yüzdesi %50'ye ulaşıldığında çok gevrek γ -fazı oluşur, gevrek γ -fazının görünmesiyle mukavemetler hızlıca düşer ve yaygın bir mühendislik uygulaması bulunmaz.



Şekil 2.5 α -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve kym kafes yapısı (Eickhorn, 1966).



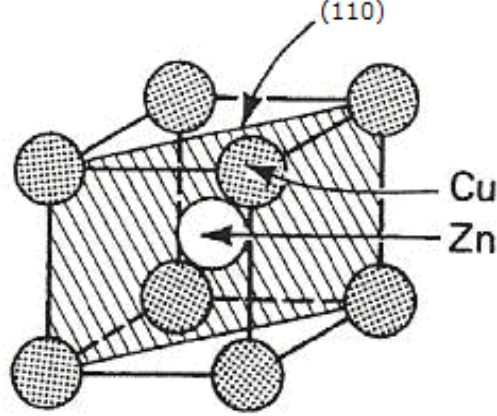
Şekil 2.6 β -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve khm kafes yapısı (Eickhorn, 1966).



Şekil 2.7 γ -pirincinin iç yapı görünümü (200:1) ve hekzagonal kafes yapısı (Eickhorn, 1966).

β -fazı kübik hacim merkezlidir ve Cu ve Zn atomları ile birlikte kafes konumu şeklinde rastgele yer almıştır (Mendenhall, 1980). Sıcaklığın 456 °C'e düşmesiyle α katı çözeltisi içindeki çinkonun çözülebilirliği artar. 456 °C ve 470 °C arasında β fazı, β' fazı olarak bilinen bir düşük sıcaklık modifikasyonuna dönüşür. Kafes konumu içinde bakır ve çinko

atomları özel bir pozisyon alır. Süper kafes veya düzenli bir yapı biçimlenir. K_{hm} yapıda rastgele dağılan Cu ve Zn atomları düzene girmektedir. Cu atomları birim hücrenin köşelerine, Zn atomları ise hacim merkezine yerleşmektedir. Bu faz denge diyagramında β' fazı olarak gösterilmiştir. Bu dönüşüm, kafesteki rastgele dizilimden düzenli bir dizilime değişen çinko atomlarının dönüşümüdür.



Şekil 2.8 β' fazında kafes konumu içinde Cu ve Zn atomlarının özel pozisyonu (Davis, 2001).

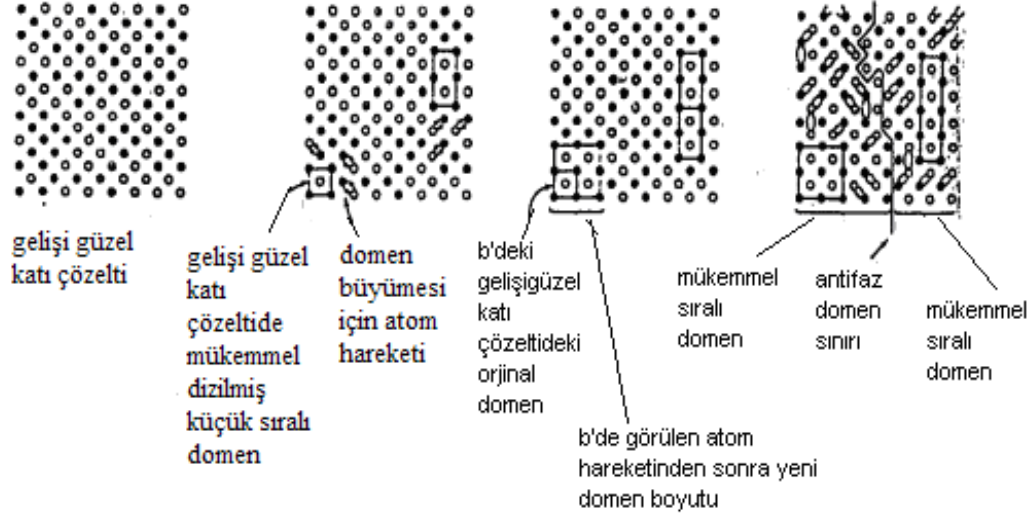
$\beta \rightarrow \beta'$ dönüşümü öyle hızlıdır ki pirinç su verme hızlarıyla soğutulsa bile durdurulamaz. Kompozisyon tam %50 Zn durumundaysa düzenli yapı, köşelerdeki Cu atomları ve merkezdeki Zn atomları ile birlikte kübik hacim merkezli hücrede oluşur (Mindivan, 2001).

Çizelge 2.2 Cu-Zn alaşımlarının kristal yapıları (Gündüz, 2004).

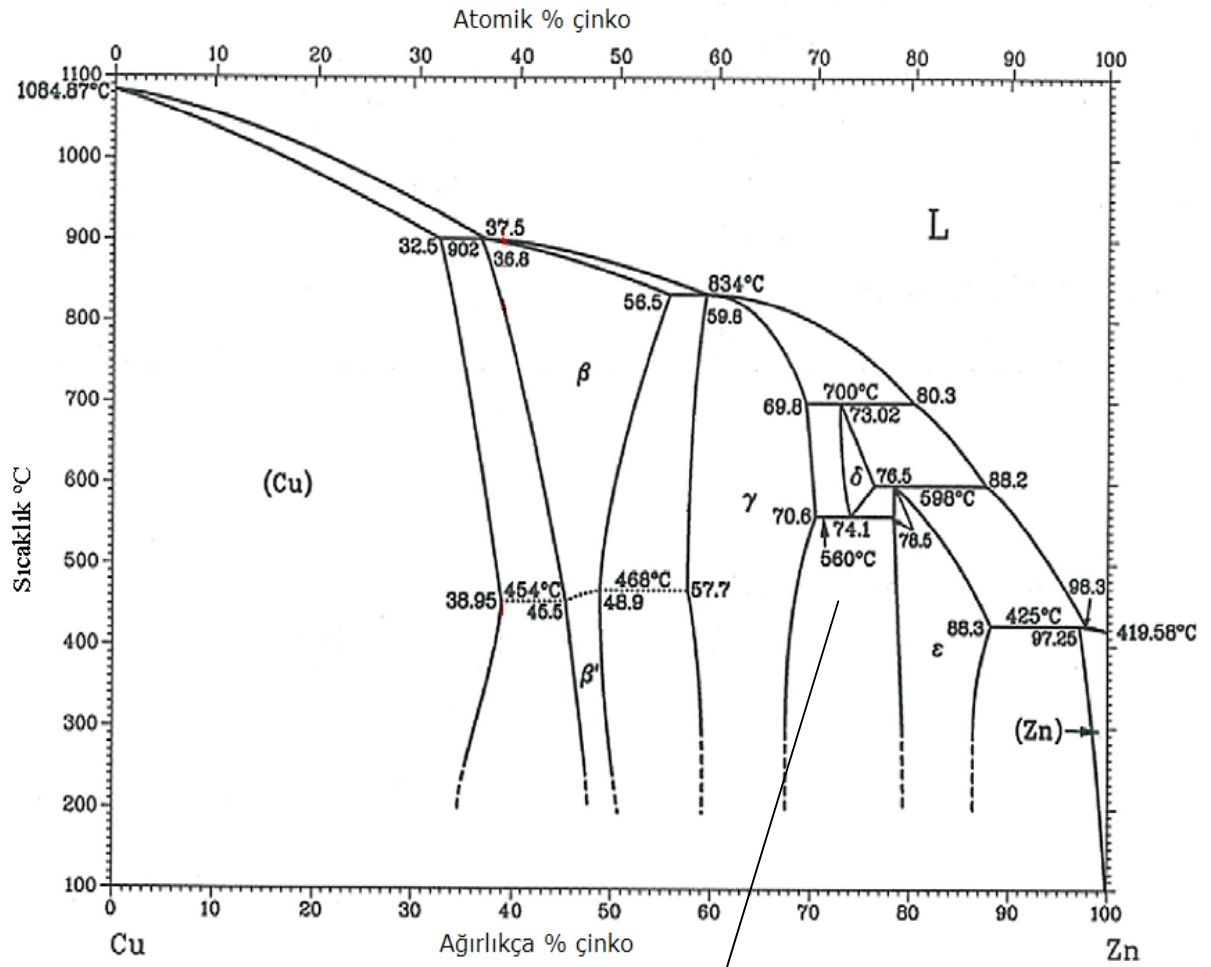
FAZ	% Zn	YAPI	a (kX)	c(Kx)
α	0	Kübik Yüzey Merkezli YMK	3.608	
α	37.5	Kübik Yüzey Merkezli YMK	3.693	
β'	48	Kübik Hacim Merkezli HMK	2.945	
γ	58.5	Kompleks Kübik	8.837	
γ	67.5	Kompleks Kübik	8.874	
ϵ	79.0	Kompleks Heks.	2.762	4.308
η	97.4	Kompleks Heks.	2.6732	4.8125
η	100	Kompleks Heks.	2.6590	4.9351

Düzenli β' bölgesinin düzenlemesinde rol alan β/β' ara yüzeyindeki atomlar tarafından düzenli bölgenin büyüdüğü görülebilir. Birbirlerine komşu bölgelerden iki ara yüzey karşılaştığı zaman atomların düzeni bozulur. Bu ara yüzeye antifaz sınırı denir. Etrafı çevrilmiş bölgeler domen olarak adlandırılır. β' düzenli yapının özellikleri domenler içindeki

atomların düzenlilik derecesine ve domen boyutuna bağlıdır, bunların her ikisi de β ve β' oluşumunda yer alan sıcaklık ve zamana bağlıdır (Davis, 2001).



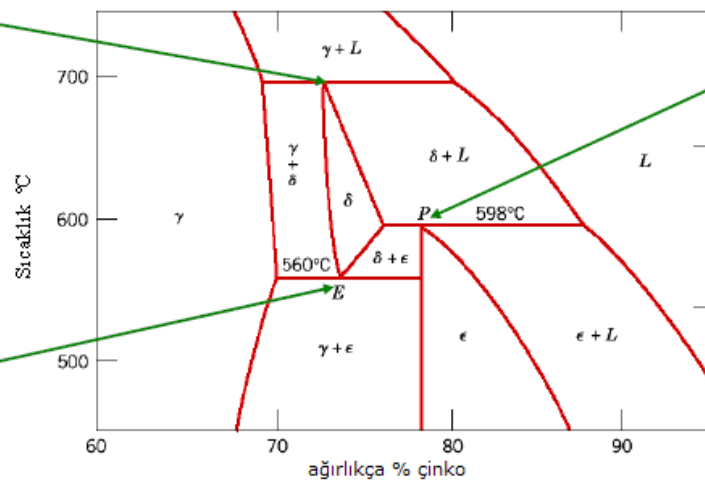
Şekil 2.9 Cu-Zn alaşımlarında düzensiz β ’dan düzenli (β')’e dönüşümü gösteren şematik mekanizma (Davis, 2001).



peritektik
 $\gamma + L \rightleftharpoons \delta$

560 °C'de
 %26 Cu-%74 Zn

ötektoid
 $\delta \rightleftharpoons \gamma + \epsilon$



peritektik
 $\delta + L \rightleftharpoons \epsilon$

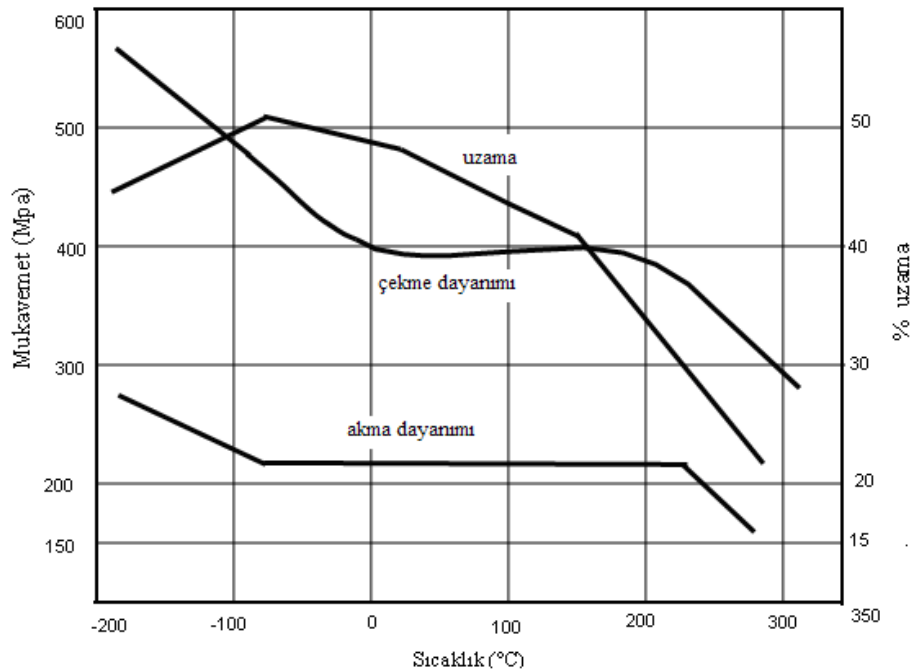
598 °C'de
 %21,4 Cu-%78,6 Zn

Şekil 2.10 Cu-Zn denge diyagramı (Demirer, 2006).

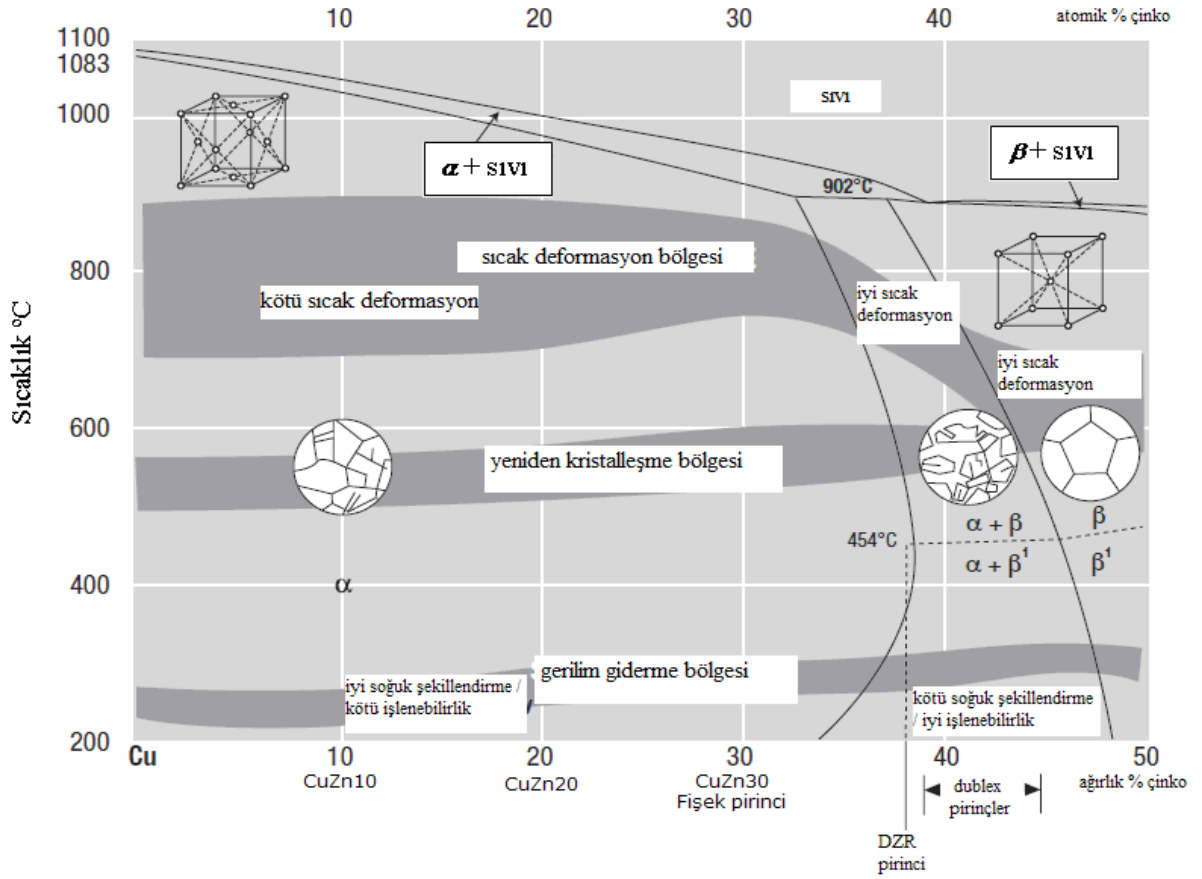
2.2 Pirincin Isıl İşlem Diyagramı

Aşağıda Şekil 2.12’de bakır-çinko alaşımlarının tavlama sıcaklıklarına bağlı olarak malzemenin işlenebilirlik özelliklerindeki değişim görülmektedir. Pirinç alaşımlarının ekstrüzyon sıcaklıkları, yeniden kristalleşme sıcaklıkları, gerilim giderme tavlama sıcaklığı ve işlenebilirlik özellikleri yine bu şekilden tespit edilebilir. α -fazının soğuk deformasyon dışındaki tüm özellikleri kötüdür. Artan çinko miktarına bağlı olarak β -fazının da oluşmasıyla malzemenin sıcak şekil verilebilirlik özelliği geliştiği gibi talaşlı şekillendirilebilirlik özelliğinde de iyileşme olduğu görülür (Akgün, 2000).

%63’den daha fazla bakır içeren pirinçler yaygın olarak oda sıcaklığında şekillendirilebilirler ve basma, derin çekme ve diğer soğuk şekillendirme işlemleriyle kompleks parçaların üretiminde geniş çaplı olarak kullanılırlar. Eğer bakır içeriği %63’den daha az ve başka alaşım elementi içermiyorlarsa oda sıcaklığındaki süneklik azalır, alaşım sıcak şekillendirilir. Belli bir miktar soğuk deformasyona maruz kalmış pirinç alaşımına uygulanacak yeniden kristalleşme tav sıcaklığının 500–600 °C aralığında olması ve gerilim giderme tav sıcaklığının ise 350 °C’i aşmaması gerektiği şekilden izlenebilir (Akgün, 2001). Yumuşatılmış veya tavllanmış durumda, pirinçler sünek ve mukavimdir. Soğuk şekillendirme teknikleriyle setleştirildiklerinde dayanımları belirgin şekilde artar. Pirinçlerin dayanımı 200 °C civarındaki sıcaklıklara kadar korunur ve 300 °C’de yaklaşık %30 civarında azalır (Mindivan, 2001).



Şekil 2.11 CuZn39Pb3 pirincinin özelliklerine sıcaklığın etkileri (Mindivan, 2001).



Şekil 2.12 Bakır-Çinko denge diyagramı üzerinde pirinçlerin mühendislik uygulama sahalarının gösterimi (www.Brass.org).

2.3 Mühendislik Uygulamalarında Pirinçler

Mühendislik uygulamalarında pirinç alaşımlarını üç ana sınıfa bölmek mümkündür:

- %36'dan az çinko içeren, bu nedenle içyapıları tümüyle α -fazından oluşan ve soğuk şekil vermeye uygun tek fazlı pirinçleri.
- %35–40 Zn içeren, içyapıları $\alpha + \beta$ fazlarından oluşan, sıcak şekil vermeye uygun çift fazlı pirinçleri.
- Çoğunlukla %4'den az Pb katkılı, talaşlı imalata uyarlanmış ve bu yüzden otomat pirinçleri (serbest kesme pirinçleri) olarak anılan $\alpha + \beta$ pirinçleri.

Çinkonun bakırda katı α -erişini oluşturduğu tek fazlı pirinçler yüksek süneklik, birçok uygulamalar için yeterli mukavemet, iyi korozyon direnci ve lehmlenebilirlik sergiler. Yüksek sünekliklerinden dolayı kolaylıkla soğukta işlenebilmektedir. Fakat talaş kaldırılarak

işlenmeleri zordur. Kartuş pirinci olarak adlandırılan %70 Cu-%30 Zn pirinci (C26000) mukavemet ve süneklik açısından en iyi kombinasyonu gösterir; bu nedenle yüksek derin çekilebilme özelliği sağlar (Demirkır, 2007). Eğer bu pirinçlere üretim esnasında yüksek miktarda soğuk işlem uygulanacaksa -fişek pirinci için önerilen tavlama sıcaklığı aralığı 425–750 °C iken- plastik gerilmelerin sonucu olarak sertlik ve dayanımdaki artışın oluşturduğu iç gerilmeleri ve meydana getirdiği gerilmeli korozyon çatlağını gidermek amacıyla yapılacak gerilim giderme tavlaması için önerilen tavlama sıcaklığı aralığı 260–320 °C’dir (ASM, Heat Treating, 1991).

Çinko yüzdesi bakırda %40 Zn dolayına ulaştığında α ve β fazlarını birlikte barındıran içyapı β -fazı nedeni ile soğuk şekil verilebilirlik için uygun değildir. Diğer yanda, ekstrüzyon dâhil, mükemmel bir sıcak şekil verilebilirlik ortaya koyar. Bunlar arasında, %60 Cu-%40 Zn pirinci, Muntz metal (C28000) olarak adlandırılan bu pirinç, bu sınıfın en yaygın kullanılan alaşımıdır (Demirkır, 2007). Muntz metali olarak bilinen $\alpha + \beta$ pirinçlerindeki β/α oranı alaşımın soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Oluşan yapı mukavemetlidir fakat en iyi mekanik özellikler α -fazının tamamen çöktürüldüğü sıcaklıklarda çalışılarak veya alaşımın β bölgesine kadar ısıtılması ve yavaş soğutulması ile sağlanmaktadır. Her iki işlem de küresel α tanelerinin etrafında ince taneli β fazlarını oluşturacaktır ve dolayısıyla bu malzemeye daha iyi mekanik özellik ve işleme özellikleri kazandıracaktır.

%4’den az Pb katkılı, talaşlı imalata uyarlanmış otomat pirinçleri olarak anılan $\alpha + \beta$ pirinçlerinde katılma sonunda sıvı haldeki kurşun neredeyse saf kurşun kürecikler olarak dendritler ve taneler arasında dağılır. Otomat pirinçlerinde kolay talaş kaldırma yeteneği ve yüzey kalitesi yükselirken, kesme takımının aşınması ve kesme kuvveti gereksinimi azalır (Demirkır, 2007).

Pirinçte farklı biçimlerde korozyon türleri ortaya çıkabilir. Bunların başlıcaları çinkosuzlaşma korozyonu, gerilmeli korozyon çatlağı, erozyon ve aşındırma korozyonu, taneler arası korozyon, oyuklaşma korozyonu, galvanik korozyon olarak sayılabilir. Çinkosuzlaşma korozyonu sırasında çinko zamanla içerisinde bulunduğu sıvı ortamda çözünerek pirinç yüzeyinden uzaklaşır. Geride çinkoca fakir, gözenekli ve zayıf bir bölge kalır. Ek olarak pürüzlü yüzeyler pirincin çinkosuzlaşma direncini daha da düşürür. Bu durumun önüne geçilemezse pirinç parçadan gaz ve sıvı geçişi önlenemez. Ayrıca, pirinç içerisindeki kurşun suya karışır. DZR alaşımları olarak bilinen çinkosuzlaşma direnci yüksek pirinçler bu yüzden geliştirilmiş, %0.02-%0.15 aralığında arsenik (As), fosfor (P) veya antimuan (Sb) ile alaşımlandırılmıştır (Davis, 2001).

2.4 Pirinç Çeşitleri

Düşük pirinçler; %80–95 arası Cu, %5–20 arası Zn içeriğine sahip alaşımlardır. Çinko içeriğinin artması dayanım, sertlik ve sünekliği artırır. 730–900 °C aralığında sıcak şekillendirilebilirler. Bu tip pirinçlerde sıcak şekillendirme problemleri yaşanmaması için Pb içeriği %0,01'in altında olmalıdır. Düşük pirinçler tavlama işlemi gördüklerinde süneklik özellikleri artar ve oda sıcaklığında dövülebilir hale gelir.

Yüksek Pirinçler; %60–80 Cu ve %20–40 arası Zn içerirler. Çinko oranları yüksek olduğu için yüksek dayanımlara sahiptirler. Süneklik özellikleri Zn oranının %30'a kadar çıkmasıyla artar. Ancak bu orandan sonra β -fazı oranı artmaya başladığından dolayı süneklik düşer, buna karşın dayanım ve sertlik artmaya devam eder. β -fazının varlığından dolayı $\alpha + \beta$ pirinci, α pirincine göre daha kolay sıcak şekillendirilebilir. Bu işlem için uygun sıcaklık aralığı 650–769 °C'dir. Soğuk şekillendirilebilme kabiliyetleri β -fazından dolayı zayıftır.

Alaşım pirinçleri; dayanım, işlenebilirlik gibi özelliklerin iyileştirilebilmesi için Cu ve Zn haricinde farklı elementler içeren pirinçlerdir. Mangan, demir ve kalayın çoklu ilaveleri dayanımı önemli ölçüde artırır. Bu durum sıcak şekillendirilebilirliği artırır. %3 civarı kurşun ilavesi de işlenebilirliği yükseltir. Buna karşın soğuk şekillendirme kabiliyeti azalır. %1 oranındaki Sn ilavesi korozyon direncini iyileştirir (Davis, 2001).

Yüksek mukavemetli pirinçler, basit ikili Cu-Zn pirinç alaşımına çekme mukavemetini artırmak için alüminyum, silisyum, demir, mangan ve kalay ilave edilerek meydana getirilen $\alpha + \beta$ ve/veya β pirinçleridir. Bu alaşım elementleri katı çözeltiliye katıldığında, intermetalik bileşikler oluşturduğundan, alaşımdaki β -fazının hacimsel yüzdesini değiştirir ve mikroyapısal incelik sağlanarak mukavemet kazandırır. Yüksek mukavemet verdikleri kadar iyi yatak özellikleri ve yüksek aşınma direnci de verirler (Mindivan, 2001).

2.5 Pirincin Yapısına Etki Eden Parametreler

Pirincin yapısının oluşumunda etkili olan parametreler; sıcaklık ve alaşımın çinko yüzdesi, alaşım içerisinde bakır ve çinko dışında mevcut olan alaşım elementleri ve malzemenin soğuma hızıdır.

2.5.1 Sıcaklık ve Alaşımın Çinko Yüzdesi

Şekil 2.10'daki bakır-çinko denge diyagramında $\alpha + \beta$ bölgesi ve faz dönüşümünü veren soğutma rotasından faz sınırlarının sabit olmadığı; sıcaklık ve kompozisyonla değiştiği görülmektedir. Çinko yüzdesi ile birlikte pirincin özellikleri de değişir.

2.5.2 Malzemenin Soğuma Hızı

Pirinç malzemelerin metalografik faz yapılarında etkili olan önemli bir faktör malzemenin üretim esnasında maruz kaldığı soğuma hızıdır. Yapının soğuma hızına bağlı olarak değişimi söz konusudur. Dengeli bir soğuma sonrasında oda sıcaklığında α ve β fazlarını bir arada içeren çift fazlı pirinç malzemeler ısıtılmaya başlandığında yapılarında mevcut α -fazının yerini β -fazının almaya başladığı ve böylece beta yüzdesinde artış olduğu gözlenir. Örneğin yaklaşık %60 Cu ve %40 Zn içeren Muntz metal alaşımının sıcaklığı 780–800 °C iken yapısında %90–95 β -fazı hâkimdir. α -fazının β -fazına dönüşümü yavaş iken, β -fazının α -fazına dönüşümü oldukça hızlı gerçekleşir. Böyle bir alaşım bulunduğu sıcaklıktan oda sıcaklığına hızlı soğumaya bırakıldığında yapısında bulunan %90–95 oranındaki β yüzdesini korumaya ve α 'ya dönüşümünü engellemeye çalışacaktır. Yine de beta-alfa dönüşümü çok hızlı olduğundan β yüzde miktarında bir miktar azalma görülecektir. Soğuma hızına bağlı olarak da malzemenin mekanik özelliklerinde farklılaşmalar görülecektir (Akgün, 2000).

2.5.3 Alaşım Elementlerinin Etkileri

Aşağıda açıklanan bazı alaşım elemanları pirinçlere; temelde işlenebilirliğini, dayanımını ve aşınma direncini, korozyon direncini geliştirmek için eklenir.

Pirinçlere %3'e kadar kurşun ilavesiyle talaşlı işlenebilirlikleri mükemmel düzeye çıkarılabilir. Kurşunun pirinçlere ve talaşlı şekillendirme davranışına etkileri 2.5.3.1 bölümünde ve ayrıca kurşunlu pirinçlerde dövme 2.5.3.2 bölümünde ele alınmıştır.

Bakır ve çözünen atom arasındaki boyut farkı, bakır alaşımlarında mukavemet artışını sağlamak açısından çok önemlidir. Boyut farkının büyük olması, sınırlı çözünürlüğe sebep olmaktadır. Mukavemet artışı için çözünürlüğün yüksek ve boyut farkının az olması

gerekmektedir. Aşağıdaki çizelgeden de rahatlıkla görüldüğü üzere çinko, en iyi atom boyutu farkı ve çözünürlük kombinasyonuna sahiptir (Mindivan, 2001).

Pirincin temel alaşım elementi çinkodur. Bakır ile çinko birbiri içerisinde her oranda çözülebilmektedir. Pirince %5–40 arasında değişen miktarlarda çinko ilave edilmektedir. Çinko pirincin mukavemetini, sertliğini ve aşınma direncini arttırmaktadır. Cu-Zn ikili sistemlerinde optimum aşınma direnci %25 çinko bileşiminde görülmektedir. Alaşıma %48'e kadar çinko ilavesi yapıldığında sertlikte artış meydana gelmekte ancak aşınma direncinde bir değişim olmamaktadır.

Çizelge 2.3 Çeşitli elementlerin bakır içerisinde maksimum çözünürlükleri ve yaklaşık atom çapı boyut farkları (Davis, 2001).

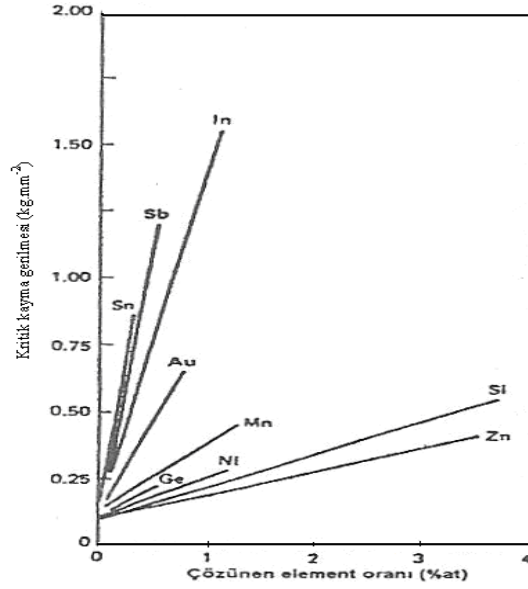
ELEMENT	O	Be	Al	Si	P	Ni	Zn	As
YAKLAŞIK ATOM ÇAPI BOYUT FARKI (%) ($d_{Cu}-d_M$) /	+113	+14	-11	+9	+70	+2	-4	+2
BAKIRDA YAKLAŞIK ÇÖZÜNÜRLÜK , wt %	0	2	9	5	2	100	39	8
ELEMENT	Ag	Kd	Sn	A	Au	B	Pb	
YAKLAŞIK ATOM ÇAPI BOYUT FARKI (%) ($d_{Cu}-d_M$) /	-11	-14	-15	-12	-11	-18	-27	
BAKIRDA YAKLAŞIK ÇÖZÜNÜRLÜK , wt %	8	3	15	11	100	0	0	

Pirinç üretiminde kullanılan en önemli terimlerden biri eşdeğer çinko miktarıdır. Eşdeğer çinko pirinçte bakır ve çinko dışında diğer alaşım elementlerinin bulunması durumunda karşılaşılan bir terimdir. Pirince her yüzde birlik alaşım elementi ilavesi, alaşımda bulunan mevcut çinko miktarını farklı oranlarda arttırmaktadır. Aşağıda Çizelge 2.4' de, çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelerinin, çinko yüzdesinde sağladığı artış gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Pirinçte çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelerinin, çinko yüzdesinde sağladığı artış.

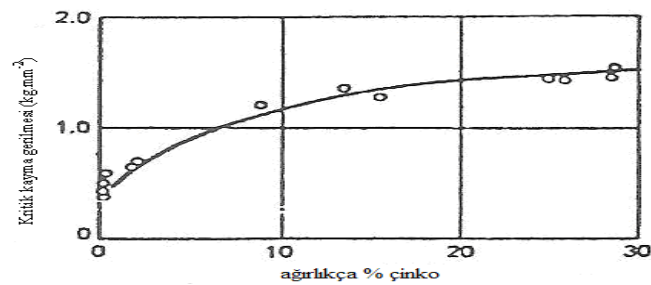
ALAŞIM ELEMENTİ	Pb	Si	Al	Sn	Ni	Fe
ALAŞIM ELEMENTİNİN MEVCUT YÜZDE DEĞERİ	1	1	1	1	1	1
MEVCUT ÇİNKO YÜZDESİNDE SAĞLADIĞI ARTIŞ	0.6	10	6	2	-1,2	2

Emprüte alaşım elementlerini de içeren dengeli soğuma yapılmış bir pirinç alaşımında oda sıcaklığında mevcut fazların yaklaşık yüzde oranlarını ortaya çıkartabilmek için, öncelikle alaşımın mevcut çinko içeriği ve içerdiği diğer alaşım elementlerinin yüzde oranlarına bağlı olarak eşdeğer çinko miktarı tespit edilir. Bu eşdeğer çinko miktarı değeri bakır-çinko ikili denge diyagramında belirlenecek ve faz diyagramı vasıtasıyla dengeli bir soğumaya maruz bırakılmış bu alaşımın içerdiği fazların oransal olarak saptanması mümkün olacaktır (Akgün, 2000). Bazı elementlerin bakırın kritik kayma gerilmesi üzerindeki etkisi şekil 2.13’de görülmektedir. Bakırda etkili mukavemet artışı sağlayan bu elementlerin çözünürlükleri genelde düşüktür. Örneğin çözünürlüğü yaklaşık %1 olan İndiumun kritik kayma gerilmesi $1,5 \text{ kg mm}^{-2}$ ’dir.



Şekil 2.13 Bazı elementlerin bakırın kritik kayma gerilmesine etkisi (Davis, 2001).

Şekil 2.14’de görüldüğü üzere bakırın kritik kayma gerilmesi üzerinde çinko diğer elementler kadar güçlü bir etkiye sahip değildir. Ancak çözünürlüğün yüksek olması nedeniyle mukavemet artışında önemli bir rol oynamaktadır (Mindivan, 2001).



Şekil 2.14 Bakırın kritik kayma gerilmesine çinko içeriğinin etkisi (Davis, 2001).

Pirince mangan, alüminyum, kalay, silisyum, demir ve nikelin küçük miktarlardaki eklentileri 500 N mm^{-2} 'nin üzerinde bir çekme mukavemetine sahip olabilen yüksek dayanımlı bir pirinç ailesini üretir.

Çinkosuzlaşmayı önlemek veya minimize etmek için 3 farklı metot vardır. Birinci metot, çinkosuzlaşmanın daha hassas olduğu (alfa-beta) pirinci yerine alfa pirinci kullanmaktır. İkinci metot, Cu-Zn faz diyagramından çıkarılan, iki fazlı pirincin sıcaklık etkisiyle alfa fazına dönüştürülmesidir. Bu metot 400–600 derece arasında ısıtarak ve sonradan oda sıcaklığında su verme işlemi yaparak uygulanır. Bu işlem, alaşımları alaşımsızlaşmaya daha az duyarlı hale çevirmesine rağmen, termal proses, bu metodu maliyet etkinliği olmayan bir metoda çevirir. Çinkosuzlaşmayı en aza indirmenin üçüncü ve en ekonomik yolu, alaşıma uygun elementleri düşük seviyede eklemektir. Bu elementler; arsenik (As), antimon (Sb), boron (B), fosfor (P), kalay (Sn) ve alüminyum (Al)'dur (Sohn ve Kang, 2001). Bowers (1982)'in bildirisine göre, Bu elementler arasında en ilgi çekici element arseniktir, çünkü alfa pirincinin çinkosuzlaşmasını önlemekte çok etkilidir. Ama çinkosuzlaşmayı engellemekte arseniğin etkisinin, iki önemli sınırlaması vardır. Birincisi, alfa pirinciyle sınırlanmasıdır. İkincisi ise, demir veya manganın iz miktarları bile, arsenikle kırılğan-gevrek intermetalik bileşiklerin oluşumuna neden olur ve bu mekanik özelliklerde bozulma ve arsenik eklentisinin etkisinde bir azalmayı beraberinde getirir (Karpagavalli ve Balasubramaniam, 2007).

Kalay (Sn) korozyon direncini geliştirmek amacıyla $\alpha + \beta$ pirincine eklenir. Bu elementin eklentisiyle çinkosuzlaşma eğilimi de dikkat çekici bir şekilde engellenebilir. Özellikle deniz suyu için geliştirilmiş, gemici pirinci (%71 Cu-%28 Zn-%1 Sn-%0.1 As) ve deniz pirinci (%60 Cu-%39.25 Zn-%0.75 Sn) gibi ticari ürünlerde ise kalay ilavesi korozyon direncini daha ileriye taşır. Öte yanda $\alpha + \beta$ pirinçlerinde oluşan stres korozyon çatlağını da engellemede başarılı olurken çekme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özellikleri de arttırır. Kalayın çok fazla eklentisi alaşımı sert ve kırılğan yapar (Okano, 1978).

Nikel (Ni) $\alpha + \beta$ pirinçlerinin mekanik özelliklerini geliştirir. Nikelin çinko eşdeğerine negatif etkisi vardır ve bu, alfa fazının artmasına izin verir. (Cu miktarının arttırılması da alfa fazını arttıracak ve beta fazını azaltacağından beta fazında meydana gelen çinkosuzlaşmayı engellemeye yardımcı olur. Bu yüzden çinkosuzlaşmaya dirençli alaşımın %63'ün üzerinde Cu içermesi uygun olur.) Daha fazla çinko ile beta fazı arttırılır. Ama nikel eklentisiyle beta fazının artışı durdurulur ve yüksek dayanım ve sertlikte bir alaşım elde edilebilir. Sonuçta beta fazında meydana gelen çinkosuzlaşma sindirilir. Bu yüzden nikel alaşıma mekanik özellikleri ve korozyon direncini geliştirmek amacıyla eklenir (Okano, 1978).

Kalay içeren pirinçlerin çinkosuzlaşmayı geciktirme mekanizması üzerine çalışmalar, kalayca zengin korozyon filminin oluşumu dolayısıyla korozyon direncinin sergilendiğini göstermektedir. Pirinç alaşımının çinkosuzlaşmasını zayıflatmakta arseniğin rolü genelde yüzey filmindeki etkilerle ilişkilidir. Sohn ve Kang (2001), 60Cu-40Zn pirincinde kalay ve nikelin etkilerini incelediği çalışmada; alaşımda yalnızca %0,7 seviyesinde kalay bulunduğunda korozyonun derinliğini 2.0 mm den 0.67 mm ye kadar düşürdüğünü, buna ek olarak %0,5 nikel eklentisiyle korozyon derinliğinin %50 daha azaltıldığını vurgulamıştır. Torchio (1981), Arsenik ve fosforun Al pirincinin stres korozyon çatlağı davranışını etkilediğini ve bu elementlerin yüksek yüzdelerinin varlığında maksimum çatlak yatkınlığının gözlemlendiğini belirlemiştir. Zucchi (1998), daha fazla β -fazı içeren pirinçlerin daha az içerenlere göre stres korozyon çatlağına daha yüksek yatkınlığı olduğu sonucuna varmıştır. Yukarda sayılan bu isimler aynı zamanda pirinçlerin stres korozyon çatlağı hassasiyetini antimuanın büyük ölçüde arttırdığını, arseniğin ise yararlı bir etki sergilediğini vurgulamışlardır (Karpagavalli ve Balasubramaniam, 2007). Karpagavalli ve Balasubramaniam (2007), pirinçlerin mikro yapı ve korozyon davranışına As, Sb ve P'un etkilerini araştırmışlar ve sadece As eklentili alaşımın As+Sb ve As+Sb+P içeren alaşımlara göre daha yüksek korozyon direnci sergilediğini bulmuşlardır. Bu As, Sb ve P'un az miktarlardaki eklentilerinin bile bir arada bulunması, β -fazında intermetalik bileşiklerin çökmesini, β -fazı hacminin büyük ölçüde artacak şekilde değişmesini sağlamış ve dolayısıyla da sertlikte dikkat çekici bir yükselişe neden olmuştur. Alaşımın sertliğinin artışıyla gevreklik de artmıştır.

Çizelge 2.5 Özelliklerini geliştirmek için pirince eklenen elementler.

ELEMENT	MİKTAR	GELİŞTİRİLMİŞ ÖZELLİK
KURŞUN	%1-%3	İŞLENEBİLİRLİK
MANGAN ALÜMİNYUM SİLİSYUM NİKEL DEMİR	%0,75-%2,5	AKMA MUKAVEMETİ 500 N mm ⁻² 'E KADAR
ALÜMİNYUM ARSENİK KALAY	%0,4-%1,5	ÖZELLİKLE DENİZ SUYUNDAKİ KOROZYON DİRENCİ

Demir (Fe) $\alpha + \beta$ pirinçlerinde tane inceltici rolü oynar. Demirin çok küçük eklentisiyle bu etki az iken, %1'den daha fazla eklentisiyle korozyon direnci ve aynı zamanda süneklik, uzama ve darbe dayanım gibi mekanik özellikler zayıflar. %0,8'in üzerindeki silisyum (Si) eklentisi β -fazını üretmeye meyilli olduğundan alaşımı korozyona karşı daha az dirençli yapar ve uzamanın kötüleşmesine neden olur. %0,4'ten daha fazla alüminyum (Al) eklentisi β -fazını oluşturmaya meyillidir. %2'den daha fazla mangan (Mn) eklentisi oksit cürufu oluşumuna neden olur (Okano, 1978).

1956 yılında Izumi ve Kawasaki tarafından yapılmış olan, saf 60/40 pirinç alaşımına %1,2–2,0 Fe, %0,56–1,00 Mn, %0,53–0,99 Sn ekleyerek alaşımın yay ve bükme özelliklerinin geliştirilmesini amaçlayan bir seri deneyleri içeren bir çalışma, 60/40 pirincinin yay ve bükme özelliklerinin en iyi mangan eklentisiyle geliştirildiğini göstermiştir (Izumi, 1956).

Berilyum (Be) alaşım elementlerini stabilize etmek ve alaşım yapısını homojen hale getirmek amacıyla alaşıma %0,1'den daha az miktarlarda eklenir. Berilyum bir oksidasyon elementi olarak da etkilidir ve çinkonun buharlaşmasını da engeller. Ergitme işlemi boyunca Berilyum dikkat çekici bir şekilde deoksidasyon üretir ve bu proses boyunca bazıları iz miktarlarda kalmalarına rağmen Be tamamen kaybolur. Ayrıca Be işlenebilirliği geliştiren kurşunun daha iyi yayılmasını temin eder (Okano, 1978).

Kurşun sıhhi tesisat pirinçlerine, işlenebilirliklerini geliştirmek ve basınç sızdırmazlığını garanti etmek için eklenir. Yıllardır sıhhi tesisat parçaları için pirinç, %8 kurşun içerikli yüksek kalitelisi bile, tek seçim olmuştur. Çevreci pirinç (EnviroBrass) kurşun içermeyen bir pirinç alaşımıdır ve su taşıma sistemlerinin su kalitesinde yaşamsal tehdit oluşturmaması düşüncesiyle yaratılmıştır. Yasal düzenlemeler içme suyundaki izin verilen kurşun miktarını sınırlar (Yılmaz, 2008). Bizmut ve selenyumun bir kombinasyonunu kurşunun alternatifi olarak kullanma fikri neticesinde yapılan çalışmalar, bizmut ve selenyumun bir kombinasyonunun işlenebilirlikte kurşunun yaptığı gibi aynı yararlı etkileri sağladığını göstermiştir. C36000–CuZn36Pb3 (serbest kesme pirinci) işlenebilmesi 100 ise, çevreci pirinç C89550 (% 0,6–1,2 Bizmut) işlenebilmesi 97 dir (www.envirobrass.com).

Ek olarak basınç sızdırmazlığı ve bizmut ve selenyum pirinçlerinin diğer döküm karakteristikleri geleneksel kurşunlu alaşımlarinkiyile hemen hemen aynı bulunmuştur. Bizmut, ecza ve ilaç sanayinde geniş çapta kullanılan zararsız bir metaldir ve periyodik tabloda kurşunun komşusudur ve ergime noktası kurşununkinden daha düşük, 56 °C (101 F)'dir. Döküm ve katılma davranışı kurşununkine benzerdir. Bizmut da kurşun gibi bakır ve bakır alaşımlarında çözülmez. Selenyum esas bir gıda elementidir ve gıda tamamlayıcılarda

ve kepek şampuanlarında bulunur. Selenyum kırmızı pirinçlerde bizmutun etkilerini artırır ve işlenebilirliği geliştirmek ve gevreklik ihtimalini azaltmak için ihtiyaç olunan bizmut miktarını azaltır (Copper. Org, 2009).

Çizelge 2.6 Çevreci pirinç alaşımlarının işlenebilirlik oranı (Copper. Org, 2009).

ALAŞIM	İŞLENEBİLİRLİK ORANI
C36000	100
C83600	84
C84400	90
C89510	75
C89520	85
C85500	80
C89550 (%0,7 Bi)	75
C89550 (%1,1 Bi)	97

Kurşun içeren bakır alaşımları %100 geri dönüşebilir. Oysa ki bizmut içeren hurda ve talaşlar için kurşunlu pirinç ve diğer metallerden tamamen ayrı bir geri dönüşüm ünitesi kurmak kaçınılmaz bir zorunluluktur. Hurda endüstrisinde bizmutun varlığının bakır endüstrisine büyük zararları olmaktadır. Bizmutun geri dönüşümü, önemli ölçüde maliyet artışlarına ve potansiyel işgücü kayıplarına neden olduğundan, teknik ve organizasyonel olarak uygun görülmemektedir (European Copper Institute, 2007). Bizmut bakırla alaşım yaptığında büzülme porozitesini destekleyen bir tane boyutu üretir (Singh, 1994). Bizmut, bakırda tane sınırlarında bir tek atomik katman olarak birikir. Bizmutun bu tek katmanı bakırın mekanik özelliklerinde oldukça kesin ve sert bir etkiye sahiptir ve bu, oldukça sünek metallerden biri olan bizmutun, çok kırılgan bir hale dönüşmesine neden olur. EnviroBrass (C89520) alaşımının tane boyutu geleneksel kurşunlu pirincinkine (C84400) nazaran yaklaşık 10 kat daha büyüktür ve EnviroBrass'ın partikülleri, partikülleri daha çok tane sınırları boyunca görülen geleneksel alaşıma nazaran alaşımda daha iyi dağılır. EnviroBrass Bi partikülleri ve Zn/Se partikülleri olmak üzere iki ayrı tip partiküle, geleneksel kurşunlu pirinç ise kurşun içeren partiküllere ve çinkoca zengin birkaç bölgeye sahiptir. Her iki tip pirinçte de partiküller çevresinde ve tane sınırlarında, genellikle “Coring” olarak adlandırılan, kalayın daha yüksek bir konsantrasyonu gözlenir. Kalay büyük bir atomdur ve var olan bütün tane sınırlarını doldurur. Tane sınırlarında bu kalay atomlarının aşırı sayısının varlığı yüzünden Bi'un tane sınırlarına segregasyonu engellenir ve (Bi saf Cu'da güçlüğü birikmesine rağmen) EnviroBrass'ın tane sınırlarında Bi segregasyonu görülmez (La Fontaine ve Keast, 2006). Bizmutun pirincin işlenebilirliğini geliştirdiği bilinmesine rağmen çok küçük miktarlarda kullanılsa bile pirinç alaşımının kırılganlığını arttırdığı da bilinir. Bizmutun Kramer (1997)

tarafından yapılan çalışmalarda sürpriz bir şekilde, %0,8–1,0 arasında kullanıldığında alaşımın dökülebilirliğini arttırdığı bulunmuştur (Kramer, 1997). Bi içeriğinin, işlenebilirliğe olumlu katkısı yüzünden %0,3'den daha az olmaması ve döküm çatlağının başlama noktası olmaya meyilli Bi kümelenmesinin oluşma tehlikesi yüzünden de %3'ü aşmaması gerektiği önemlidir. Diğer bir sebep te Bi'un zor bulunan ve kurşundan yaklaşık on kat daha pahalı bir metal olmasıdır. Uchida (2009) yaptığı çalışmada; 60 /40 pirincine işlenebilirliği geliştirmesi amacıyla %2 eklenen Pb'un döküm çatlağı oluşumuna meyil vermediğini ama kurşunun alternatifi olarak %1, %2 ve %3 oranlarında eklenen Bi'un ve ayrıca %1'in üzerinde kalay %0,3'ün üzerinde Mn ve %0,1'in üzerinde nikel eklentilerinin de döküm çatlağının oluşumuna yardımcı olduğunu gözlemledi. Ancak Boron (B) ve Silisyum (Si) eklentileriyle döküm çatlağı oluşumunun engellendiğini buna karşılık B ve Si' un aşırı miktarlarının işlenebilirlik ve mekanik özelliklerin kötüleşmesine yol açtığını yapmış olduğu çalışmalarla kanıtladı.

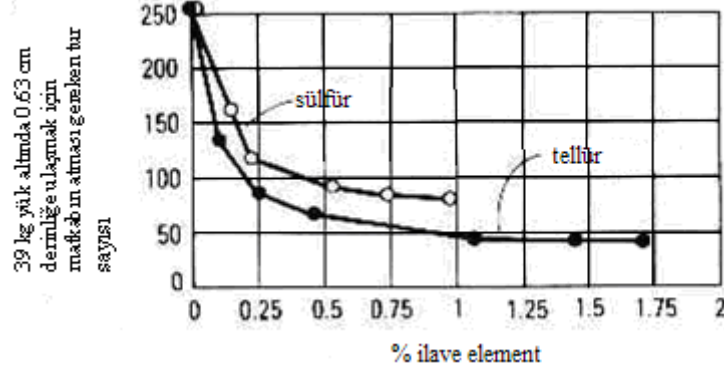
2.5.3.1 Kurşunun Pirince ve Talaşlı Şekillendirme Davranışına Etkisi

Bakır ve bakır alaşımları işlenebilirliklerine göre üç ana gruba ayrılırlar:

- İşlenebilirlik karakterini geliştirmek için kurşun, sülfür veya tellür eklenen serbest kesme alaşımları.
- %60–85 Cu içeren kurşunsuz pirinçler ve kurşunlu nikel gümüşlerinin temsil ettiği orta karar işlenebilir alaşımlar.
- Kurşun içermeyen bakırlar, düşük çinko içeren pirinçler, nikel gümüşleri, fosfor bronzları ve alüminyum bronzlarının temsil ettiği işlenmesi zor olan alaşımlar.

Bir alaşım elementi olarak veya özellikle işlenebilirliği geliştirmek amacıyla kurşun içeren alaşımlar, serbest kesme alaşımları grubunu temsil eder. Kurşun eklentisi talaşın kolay kopmasını ve böylelikle yüksek kesme hızlarını ve iyi takım ömrünü beraberinde sunar. Bakır alaşımlarının matkaplanabilmesinde sülfür ve tellür'ün etkileri şekil 2.15'de mukayese edilmiştir. Şekilde, sabit bir yük altında matkapla 0.63 cm. derinliğe ulaşabilmek için matkabın atması gereken tur sayısı belirtilmektedir. Her iki element için küçük miktarda ilavelerle öncelikle matkabın tur sayısında ani bir düşüş olduğu görülür. Elektrik iletkenliğinin kaybına neden olmalarından dolayı bu elementlerin %0,5'den daha fazla eklentilerinde dikkat çekici bir avantaj yaşanmaz (ASM, Machining Processes, 1991). Bakır ve bakır alaşımlarının işlenebilirliği, otomatik diş açma makinelerinde işlemeyi de içeren

yüksek hızda işleme operasyonları boyunca ürettikleri talaşın tipiyle ilgilidir. Genellikle bakır ve bakır alaşımlarının işlenebilirliği diğer yapısal malzemelerle özellikle çeliklerle karşılaştırıldığında oldukça iyi olarak değerlendirilir.



Şekil 2.15 Sulfür ve Tellür'ün malzemenin matkaplanabilirliğine etkileri (ASM, Machining processes, 1991).

İşlenebilirlik, güç tüketimi, takım aşınma hızı, yüzey bitirme işlemi, talaş morfolojisi veya bu kriterlerin kombinasyonlarının koşullarıyla açıklanabilir. Gerçekte işlenebilirliğin anlamı başlı başına ürünün özel ihtiyaçlarına bağlıdır. İşlenebilirliği açıklamadaki bir diğer zorluk, onun pek çoğu oldukça karmaşık çok sayıdaki faktörün kombine edilmiş etkilerine bağlı olmasıdır. Örneğin, işlenebilirlik bir çalışma parçasının fiziksel ve mekanik özellikleriyle yakından ilgilidir: sert ve gevrek metallerin işlemesi yumuşak ve sünek olanlara nazaran genellikle çok daha zordur. Ama saf bakır, paslanmaz çelik ve bazı alüminyum alaşımları gibi çok sünek metaller, işleme için problem yaratabilen uzun şeritsi talaşları biçimlendirmeye eğilimlidir. İşlenebilirlik aynı zamanda büyük ölçüde kullanılan takımın tip ve geometrisine, kesme operasyonuna, makine takımına, takım ve çalışma parçasının metalürjik yapısına, kesme/soğutma sıvısına ve operatörün yetenek ve deneyimine bağlıdır. Talaş görüntüsü, bakır ve bakır alaşımlarının işlenebilirliğinin iyi bir göstergesidir ve aynı zamanda malzemenin mikro yapısıyla ilgilidir.

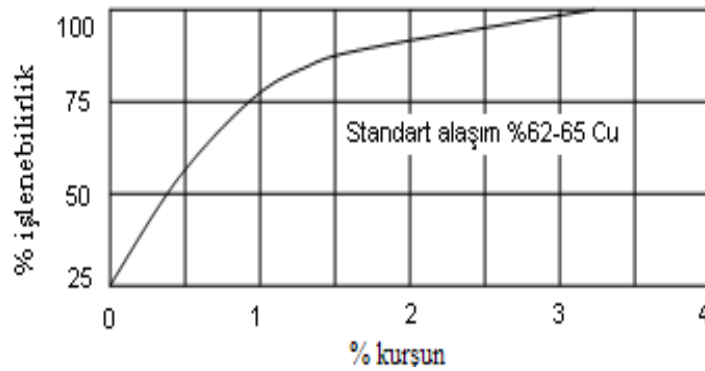
Bakır alaşımları üç farklı tip talaş üretir:

- Tip 1 (talaş kaldırılabilir) alaşımlar yüksek hızda işleme için uygun olan küçük ve parçalanmış talaş verir. Kurşun ve alternatif eklentiler içerirler. Kurşun ilavesi talaş kırılma gücünü artırarak malzemenin yüksek hızlarda kolay işlenebilmesine olanak sağlar. Takımların ömrü artar ve iyi bir yüzey kalitesine ulaşılır. Bu talaşlar makine ya da takım ucuna sarmazlar.

- Tip 2 (kısa talaş) genellikle çok fazlı alaşımlar olan malzemeler kıvrılmış, yay şeklinde helezonik ama gevrek talaş üretirler. Bu grup alaşımlar malzemenin ana matriks yapısından daha sert ve kırılgan olan ikincil fazlar içerirler.
- Tip 3 (uzun talaş) genellikle tek fazlı alaşımlar olan malzemeler uzun ve sık sık kıvrılmış sürekli talaş üretirler. Çünkü mukavemetli ve toktur, kırılmaksızın deformasyona dayanıklıdır.

Kurşunlu alaşımlardan çıkan talaşlar, kopma enerjisi tarafından kesme takımından uzaklaştırılmadan önce çok kısa bir süre için takım yüzüyle kontakta kalır. Bu kısa kontak süresi sürtünmeyi ve takım ile çalışma parçası ara yüzündeki sıcaklığı azaltır ve takım aşınması ve enerji tüketimini minimize eder. Kesme kuvvetlerini azaltırken daha rahat bir işleme operasyonu ile maksimum üretilebilirlik elde edilmesini sağlar. Kurşun takım yüzeyi üzerine bulaştığında dâhili bir yağlayıcı olarak davranış göstermesi beklenir. Talaş kaldırmada kurşunun faydalı etkisi kurşun içeriği ile artar. Ama kurşun içeriği yükselirken gelişimin oranı azalır. Dikkat çekici bir şekilde geliştirilmiş işlenebilirlik, en uygun talaş kaldırma davranışı %0,5 ve %3,25 arasında kurşun içeren konsantrasyonlarda oluşmasına rağmen %5'den daha az kurşun içeren kurşunlu alaşımlarda ölçülebilir.

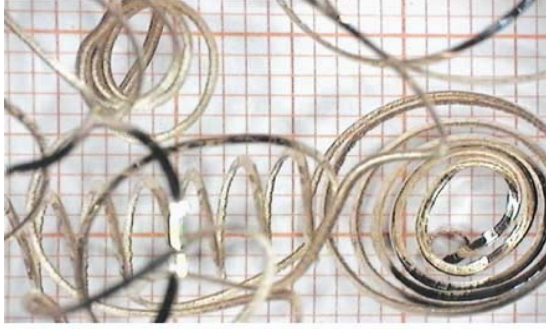
Daha iyi tane boyutları genellikle mekanik özelliklere daha olumlu etki yapar ve iri taneli yapıya sahip olanlarına nazaran ince taneli yapılar daha mukavemet ve daha sünek özellik gösterirler. Bu yararlar işlenebilirliği geliştirir. Bu etkilerden kurşunlu alaşımlarda daha fazla bahsedilir.



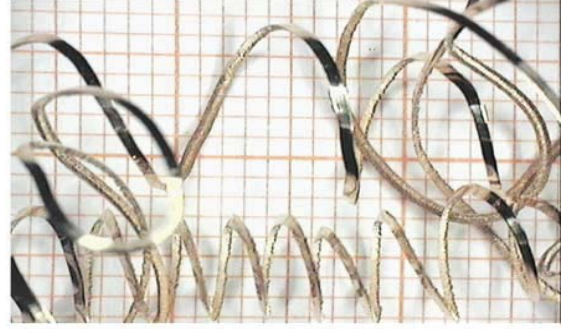
Şekil 2.16 %62–65 Cu içeren pirinç alaşımlarında kurşun içeriğine bağlı olarak malzemenin İşlenebilirliği (Davis, 2001).

Şekil 2.16'da %62–65 Cu içeren pirinç alaşımında İşlenebilirliğin önce hızlı olarak sonra %3,25 kurşuna kadar azalarak arttığı görülür. %1'in altında kurşun ilavesi daha yaygındır. Örneğin Naval pirincine %0,7 kurşun ilavesiyle işlenebilirliği %50 oranında iyileşir (Davis,

2001). Kurşunun bulunmasının korozyon derinliğine hiçbir etkisi yoktur. Böylelikle kurşun, dubleks pirinçlerine inhibitör olarak eklenen kalay ve nikelin etkinliklerini de bozmaz (Sohn ve Kang, 2001). Optimum kurşun içeriği genellikle %1–%3 arasındadır ve bu değer mikro yapıda α ve β fazlarının hacimsel yüzdelere bağlıdır. β -fazı verdiği sertliğin sonucu olarak işlenebilirlikte pozitif bir etkiye sahiptir. α -fazı sarmal-spiral şeklinde ve uzun talaşlar üretmesine karşılık β -fazı malzemenin kısa ve süreksiz talaş parçalanmasını teşvik eder. Vilarinho vd. (2005), talaş sınıflandırmada kimyasal kompozisyonun etkilerini değerlendirmek amacıyla yapmış oldukları bir çalışmada, bunun, alaşımda kurşunun varlığı olduğunda geçerli olduğunu belirlemişlerdir. Kurşun içeriği % 0,95 ve daha yüksek olan alaşımlar (%Pb 0.95–2.46) ISO 3685:1993 'e göre, kısa ve süreksiz talaş tipi, 7.1 ve 6.2 sınıf talaş tipi sergiler.



CuZn37



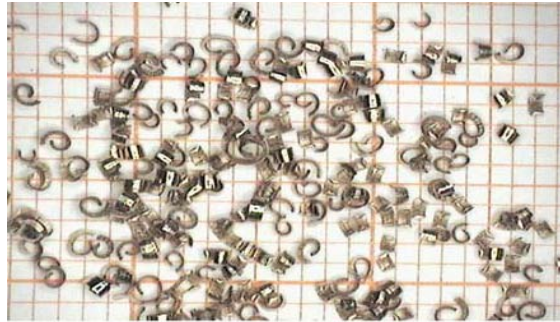
CuZn41Fe



CuZn36Pb2As



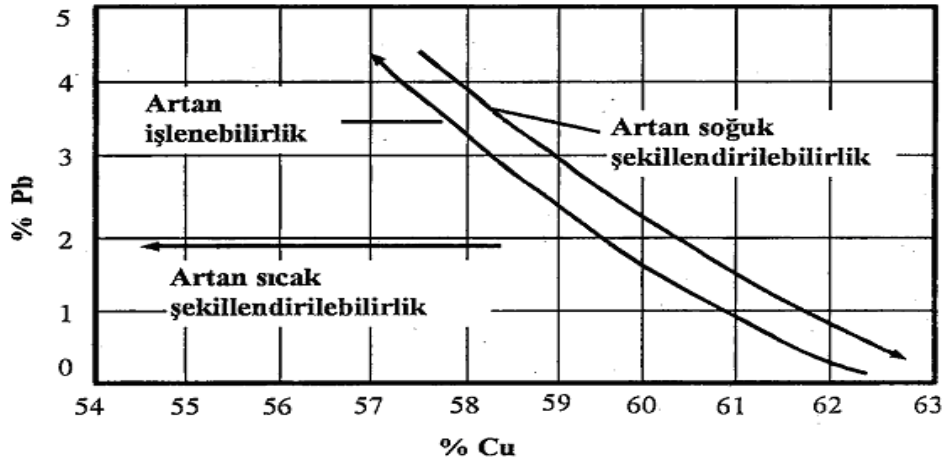
CuZn40Pb2



CuZn39Pb3

Şekil 2.17 Kurşun içeriği (%0.95–2.46) olan pirinçler 7.1 ve 6.2 sınıf talaş tipi sergiler (Hoffman ve El-Magd, 2005).

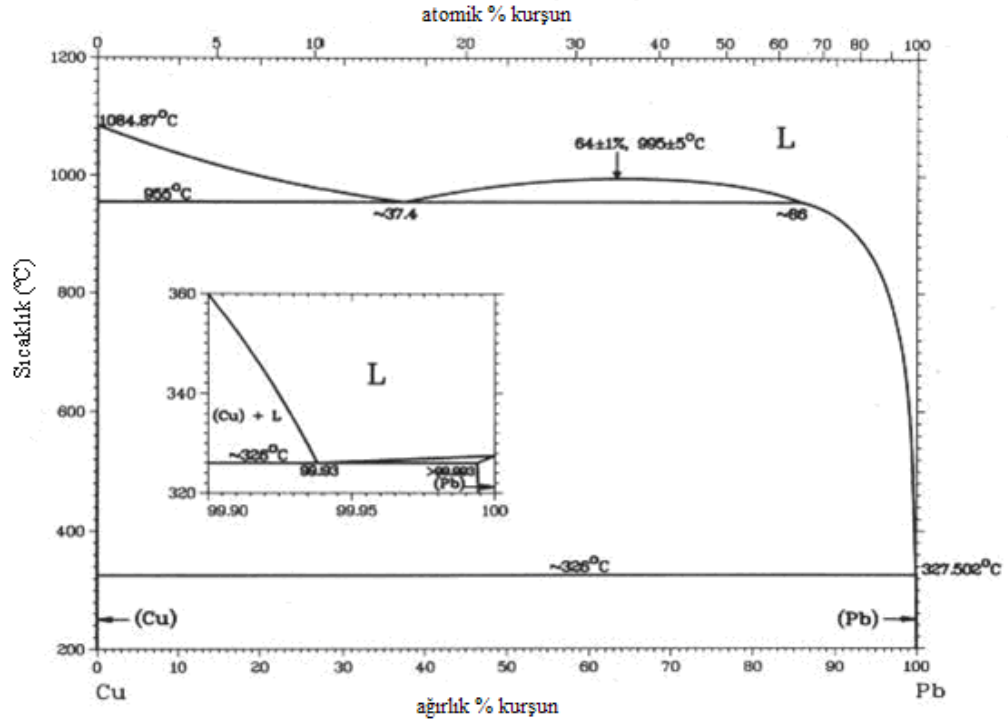
Kurşunun mukavemete dikkat çekici bir etkisi yoktur, pirincin dayanımına belirgin bir etki yapmamaktadır ama kurşunlu alaşımların soğuk deformasyonu Şekil 2.18’de görüldüğü üzere zor olmaktadır. %4’ten daha fazla kurşun eklentisi alaşımın darbe direncini azaltır, segregasyon eğilimi daha artar. C36000’den daha düşük kurşun içeren C34500 ve C35300 gibi alaşımlar, yüksek hızda işleme ve soğuk deformasyonun her ikisinin de gerekli olduğu ürünler için daha iyi seçim olabilirler.



Şekil 2.18 Pirinç malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine bakır ve kurşunun etkisi (The Brasses Properties and Applications.).

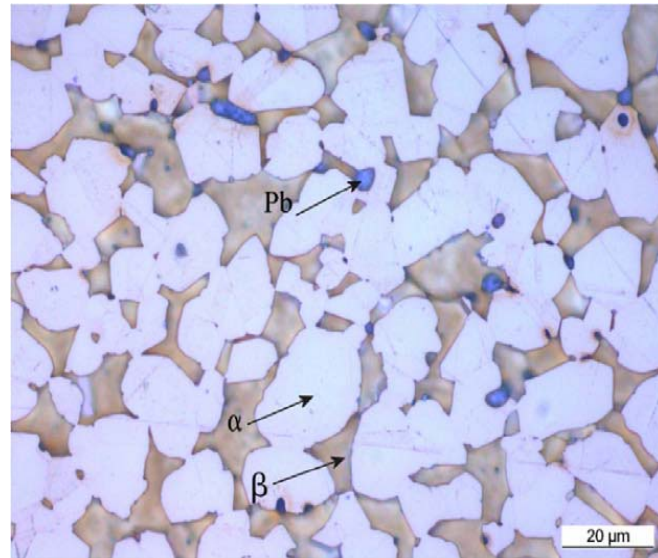
Garcia vd. (2009), kurşunlu pirinçlerin işlenebilirliğini etkileyen parametreleri biri CuZn39Pb3 diğeri %Cu 57,1 %Zn 38,0 %Pb 4,42 pirinç örneği ile incelediklerinde aşağıdaki sonuçlara varmışlardır:

- Daha yüksek kurşun içeriğine sahip olan alaşımın mikro yapısında daha büyük kurşun kürecikleri dağılmıştır. Ama bu dağılımın, kesme operasyonu boyunca kesici takımın daha rahat çalışması için yeterli yağlama özelliği vermediği anlaşılmıştır.
- Daha düşük kurşun içeriğine sahip CuZn39Pb3 alaşımının mikro yapısında daha küçük kurşun kürecikleri çok daha iyi dağılım göstermiştir.
- Yüksek kurşunlu alaşımın yüzey/hacim oranı düşük ve α -fazı hacmi daha fazladır. CuZn39Pb3 alaşımının β -fazı hacminin daha fazla olduğu ve bunu yüksek sertlik, daha yüksek akma dayanımı ve çekme dayanımının takip ettiği görülmüştür.
- Kurşun küreciklerinin düzgün dağılımı soğuma hızının bir fonksiyonudur ve başarılı bir işlenebilirliğe ulaşmakta önemli bir rol oynar. CuZn39Pb3 alaşımı katılaşmadan sonra daha hızlı soğutulmuş ve bu, daha iyi ve daha küçük kurşun dağılımına olanak vermiştir.



Şekil 2.19 Bakır-Kurşun denge diyagramı (ASM, Alloy Phase Diagrams).

Kurşun bakırda çözülmez. Mikroskobik düzeyde yapıya kürecikler halinde dağılmaktadır.



Şekil 2.20 Çözünmeden yapıya dağılan kurşun kürecikleri (Garcia vd., 2009).

Kurşun pirinç dökümünde ötektik sıvı içerisinde saf kurşun olarak çökelmekte ve dendritler arası bölge ya da tane sınırlarında katılaşmaktadır. Yukarıda bahsedilen avantajlı işleme operasyonlarını sağlamak amacıyla yapıda homojen olarak dağılan kurşun küreciklerinin tane boyutunun 5 µm dan daha az olması arzu edilir (Pantazopoulos, 2002).

Kurşunun diğer zararlı etkileri arasında kaynak ve lehimleme özelliklerinde zayıflığa neden olması, yüksek sıcaklıklarda çalışan kaynak elektrotları gibi ürünlerde de problemlere neden olması söylenebilir. Öte yanda kurşun bir alaşımın korozyon davranışında dikkat çekici değişikliklere neden olmaz.

Çizelge 2.7 Çok yaygın olarak kullanılan serbest kesme pirinçleri (The Brasses Properties and Applications).

ÇOK YAYGIN KULLANILAN SERBEST KESME PİRİNÇLERİ		
KOMPOZİSYON	EN NUMARASI	EN YAKIN EŞDEĞER İNGİLİZ STANDARDI
CuZn39Pb3	CW614N	CZ121 Pb3
CuZn36Pb3	CW603N	CZ124
CuZn36Pb2As	CW602N	CZ132
CuZn37Pb2	CW606N	CZ131
CuZn39Pb2	CW612N	CZ128
CuZn40Pb2	CW617N	CZ122

2.5.3.2 Kurşunlu Pirinçlerde Dövme

Dövme, açık ya da kapalı kalıp yardımıyla, yarı mamül olarak üretilmiş bir malzemeye kuvvet uygulayarak şekil verme işlemidir. Metallerdeki uygulamalarda sıcak ya da soğuk olarak yapılan bu işlem, pirinçlerde sıcak olarak yapılır. Dövme işlemi için en sık kullanılan pirinç, CW 617N (C37700) alaşımıdır. Dövme pirinç alaşımları genelde valflerin, soğutma sistemlerinde kullanılan parçaların, yüksek basınçlı sıvı ve gaz donanımlarının yapımında kullanılır. Dövme işlemi sırasında metalin şekil değiştirmesi tane yapısında da yönlenmelere neden olmaktadır. Bu yönlenmiş yapıdan parçanın servis şartlarında çalışma koşullarına göre yararlanmak mümkündür. Ancak unutulmamalıdır ki tane yapısının yönlendiği doğrultuya dik doğrultuda mekanik özellikler daha düşüktür. Yönlenme olayını olabildiğince ortadan kaldırmak için yeniden kristalleştirme tavlama yapılmalıdır. Pirinçler sık dövme işlemi için en uygun bakır alaşımlarıdır. Bunun nedeni yüksek dayanım ve korozyon direnciyle birleşen mükemmel sıcak çalışma özellikleri ve iyi işlenebilir kabiliyetidir. Kurşun içeriği kalıptaki metal akışını sağlar (ASM, Forming and Forging, 1988). Fakat buna karşın özellikle derin şekil değiştirmelerin olduğu kalıp tarafından desteklenmemiş ya da tam kapanmamış

bölgelerde çatlak oluşumunu hızlandırır. Bu, kurşun içeren alaşımların dövülemediği anlamı taşımaz. Dövme sistemi ve kalıbın çatlak oluşumunu önleyecek şekilde dizayn edilmesi gerekir. Sıcak dövme ile şekillendirilecek $\alpha+\beta$ pirinçlerinde %2,5 oranına kadar Pb kabul edilebilir. Sıcak dövme işleminde sanılanın aksine; şekillendirilecek parçaların çok yüksek sıcaklıklara ısıtılması dövme işlemini kolaylaştırmaz. Aksine bir takım zorluk ve problemlere neden olur. Bu yüzden kullanılan alaşımlara göre literatürde belirtilmiş sıcaklık aralıklarında çalışılması gerekir. Çalışılacak alaşımın literatürdeki sıcaklık aralığı içerisindeki değerlerin işletme koşullarına göre belirlenerek (tav fırını, kalıp şekli gibi değişkenlere göre) sabit değerlerle çalışmak, hataları en aza indireceği gibi üretimde seriliği de dengeli bir hale getirebilir. Isıtma işlemi için en uygun ortam atmosfer kontrollü fırınlar olsa da 705 °C'nin altında yapılacak dövme işlemi için normal fırınlar da tercih edilebilir (ASM, Forming and Forging,1988).

Çizelge 2.8 Genel olarak sıcak dövme için bazı alaşımların tavsiye edilen sıcaklıkları (ASM, Forming and Forging,1988).

ALAŞIM	SICAKLIK (°C)
C12200	730-845
C18200	650-760
C37700	650-760
C46400	595-705
C62400	705-815
C64200	730-900
C67000	595-705
C67300	595-730
C67400	595-730
C67500	595-705

2.5.3.3 CuZn39Pb3 (C38500) Kurşunlu Pirince Kimyasal Kompozisyonun Etkisi

Birçok ciddi kusurlardan sakınmak için ergitme fırınında emprütelerin on line kontrolü çok önemlidir. Bizmut (Bi) gevrek intergranular filmin oluşumuna neden olur ve bu, sıcak gevreklik etkilerini artırır. Bu yüzden alaşımın sıcak çalışabilirliğini kötüleştirir. Öte yanda antimuan (Sb) alaşımın soğuk çalışabilirliğini bozar. $\alpha+\beta$ pirinçleri ve β pirinçleri daha düşük ekstrüzyon sıcaklıkları ve ekstrüzyon yükleri yüzünden, kompleks biçimlerin ekstrüzyonu için α pirinçlerinden daha uygundurlar. β -fazı sıcak ekstrüze edilebilirlik

üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve belirli alaşım elementlerinin eklentisiyle kontrol edilebilir. β -fazı içeriği arttırılarak sıcak ekstrüze edilebilirlik geliştirilir. Bu, verilmiş bir ekstrüzyon yükü ve ekstrüzyon oranı için ekstrüzyon sıcaklığının azaltılabileceği anlamını taşır. Çinko eşdeğer faktörü veya bir elementin çinko eşdeğeri, β -fazı içeriğinin alaşımdaki bu elementin eklentisiyle nasıl modifiye edildiğini anlamaya yardım eder. Pozitif çinko eşdeğer faktörüne sahip olan elementler β -fazı içeriğini arttırır. Negatif çinko eşdeğer faktörüne sahip olanlar ise alaşımdaki β -fazı içeriğini azaltır. Sadece nikel (Ni) negatif çinko eşdeğerine sahiptir (-1,2) ve %1 Ni eklentisi, %1,2 daha az çinkolu bir alaşıma sahip olmakla aynıdır. Nikel (Ni) ve kalay (Sn) miktarları soğuk çalışma boyunca gerilim-sertlik etkileri bağlantısı yüzünden %0,3'ün altında tutulmak zorundadır (Pantazopoulos, 2002).

Sıcak deformasyon prosedürleri ürünlerin son maliyetlerini azaltmak amacıyla endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Sıcaklıkla yükün azaltımı ve malzeme sünekliğindeki bir artış toplam verimi arttırabilir ve malzemeyi biçimlendirmek için gerekli enerjiden tasarruf sağlar. Bunun ötesinde malzemenin mekanik özelliklerine ve yapısına da müşteriler tarafından talep vardır. Bu yüzden deformasyon şartlarının toplam malzeme özelliklerini nasıl etkilediğini ve arzu edilen malzeme yapısını üretmek amacıyla deformasyon şartlarının nasıl kontrol edileceğini bilmek önemlidir. Kurşunun eklentisi matrikste dağılmış tavlama boyunca tane kabalaşmasını azaltan kurşun partiküllerinin oluşumuna neden olur ve malzemenin sertlik ve dayanımını arttırır. Ama oda sıcaklığındaki çok düşük süneklik yüzünden ürünün gevrek kırılmasından sakınmak amacıyla malzeme yüksek deformasyon sıcaklığında şekillendirilmek zorundadır. Küçük kurşun partikülleri, ısıtma işlemi veya malzemenin sıcak deformasyonu boyunca tane sınırı göçünün gecikmesi dolayısıyla final tane boyutunu azaltabilir. Kurşunun ergime sıcaklığı üzerinde sıcak deformasyon boyunca kurşun inklüzyonları katı matriks tarafından çevrelenir. Pratikte malzemenin sertliğini etkilemez. Bu, alaşımın çökelme sertleşmesine nazaran tane büyümesinin gecikmesi ve tane sınırlarını sabitleyerek malzemenin mekanik özelliklerini geliştiren kurşun eklentisidir. İnce taneli $\alpha + \beta$ yapısı ve sıcak deforme edilmiş tanelerin içindeki yüksekçe geri kazanılmış temel yapı her ikisi de malzeme sertlik artışından sorumludur. Demir ve manganın küçük eklentileri genellikle alaşımın mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla kullanılır. Fe ve Mn'ca zengin partikülleri bakır matrikste yoğunlukla çözülür. Fe partikülleri α tanelerinde çekirdeklenir. Komşu β taneleri Fe partiküllerinin çökmesinden bağımsızdır ve bu büyük bir olasılıkla yüksek sıcaklıkta β 'nin içindeki Fe'in daha yüksek çözülebilirliğinden kaynaklanır. Soğutma

boyunca α -fazındaki Fe partikül çekirdeklenmesi β -fazındakinden daha hızlıdır. Uyumlu Fe partiküllerinin çökmesi ek bir sertlik değeri yaratır (Blaz, 2001).

2.6 Pirinçlerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Bakır ve bakır alaşımları ticari metallerin büyük gruplarından birini oluşturur. Genellikle nomanyetiktirler. Kolaylıkla lehimlenebilir, gaz, ark ve çeşitli metotlarla kaynak edilebilirler. Saf bakır yoğun olarak kablolar ve tellerde, elektrik kontakları ve elektrik akımının geçmesi için gerekli olan çok çeşitli parçalarda kullanılır. Bakır, pirinç, bronz ve kupronikeller; otomobil radyatörleri, ısı değiştiricileri, ev ısıtma sistemleri, solar enerjiyi absorbe etmesi için panellerde, ısı geçişinin hızlı iletimini gerektiren çeşitli uygulamalarda ve iyi korozyon direnci yüzünden borularda, valflarda, içme suyunu ve suyla ilgili akışkanları taşıyan sistemlerdeki donanımlarda yoğun olarak kullanım alanı bulurlar.

Pirinçler başlıcaları; yüksek dayanım ve iyi yorulma direnci, süneklik, fabrikasyon kolaylığı, doğal ve ekonomik olarak kullanım önceliği veren mükemmel korozyon direnci, iyi işlenebilirlik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği ve elektrik ekipmanlarının üretimi için ideal bir tercih haline getiren korozyon direnciyle kombine edilmiş yüksek iletkenlik olan pek çok özelliğinin eşsiz kombinasyonlarıyla çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bakır bir bakteriyostatiktir ve pirinçlerdeki içeriği, pirinçlerin yüzeyindeki mikroorganizmaların büyümesini kısıtlayıcı bir etkiye sahiptir. Özellikle kapı kollarındaki testler pirinç malzemelerden yapılmış olanların çok daha sağlıklı olduğunu göstermiştir. Ev eşyaları, topuzlar ve kapı kulpları, şömine avadanlıkları, somunlar ve vidalar, sıhhi tesisat donanımları için bağlantı elemanları, elektrik ve mekanik donanımlar için hassas parçalar ve denizcilik uygulamalarında kullanılan birçok parça sadece pirinç alaşımlarından üretilen parçaların birkaç örneğidir. Pirinçler, dayanıklı dekoratif uygulamalar ve uzun ömrün ve estetik görünümün gerekli olduğu fonksiyonel parçaların imalatı için yaygın olarak kullanılırlar. Alüminyum pirinçleri ayırt edici bir gümüşü parlaklığa sahiptir ve mangan ilavesi göz alıcı bir bronz rengi verir. Bazıları mangan pirinçleri olarak bilinen yüksek dayanımlı pirinçler özellikle mimari uygulamalar için uygundur.

Pirinçler, mekanik özellikleri korunduğundan veya bu işletme şartları altında hafifçe geliştiğinden, aşırı düşük sıcaklıklarda kullanım için oldukça uygundur. Pirinçte kurşunun varlığı, düşük sürtünmeyi olanaklı kılan iyi yağlayıcı etki verir ve saat ve enstrümanlarda kullanılan dişli takımlarına düşük aşınma özelliği katar. Mangan ve silisyumun bulunduğu

özel pirinçler ağır hizmet yataklaması için malzemeyi ideal yapar. Pirinç çarptığında kıvılcım çıkarmaz ve bu, tehlikeli ve rizikolu çevrelerde kullanımına imkan tanır. Pirinçlerin pek çok meziyetlerinden bir tanesi de çeşitli uygulamalar için diğer özellikleriyle kombine edilmiş korozyon direncidir. Elektrik kablolarından hidrolik boru hatlarına kadar pirinç donanım ve teçhizatlar, havadaki ve aynı zamanda işleyen akışkanlardaki iyi performansı yüzünden idealdir. Naval pirinci, ve dızr pirinci gibi özel pirinçler ise özellikle denizi ifade eden saldırgan çevreler için geliştirilmiştir. Pirinçler kuru bir atmosfere maruz bırakıldıklarında, maruz kalan yüzeylerinde oluşan ince, koruyucu ve kararlı bir oksit tabakası yüzünden yavaş yavaş kararırılar. Bu oksit tabakası daha ilerlemez ve çalışan parçaların işleyişini bozmaz. Bu oksit filmi alüminyumda oluşan oksit tabakasının dezavantajlarına sahip değildir ve elektrik uygulamaları için faydalıdır da (The Brasses Properties and Applications).

Çizelge 2.9 Ağır metallerle ilgili içme suyu standardı (Yılmaz, 2008).

AĞIR METAL	AVRUPA BİRLİĞİ DEĞERLERİ	DÜNYA SAĞLIK ÖRGÜTÜ (WHO) DEĞERLERİ
BAKIR	0,1-3 ppm	2 ppm
ÇİNKO	0,1-5 ppm	-
KADMİYUM	0.005 ppm	0.003 ppm
KROM	0.05 ppm	0,05 ppm
NİKEL	0.05 ppm	0,02 ppm
KURŞUN	0.05 ppm	0,02 ppm

İçme suyu hatlarında kullanılan malzemeler ve bileşimleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve farklı kuruluşlar (EU, EPA, SDWA, NSF) tarafından sürekli takip edilmektedir. Bu yolla doğal olarak, sağlık ve hijyen şartlarına uygun içme suyu iletimi sağlanmaktadır. Çizelge 2.9’da içme suyunda bulunması istenmeyen ağır metallerin limit (maksimum) değerleri verilmiştir. Pirinçlerde çinko ve kurşun akışkana en rahat karışan elementlerdir ve bu önlenmelidir. İçme suyu için kritik analiz yapılırsa yukarıda verilen tablo değerlerinin serüveni rahatça anlaşılır. Örneğin kurşun için 1999’da WHO’ nun verdiği maksimum değer 0,05 ppm iken 2003’te bu, tablo değeri olan 0,02 ppm’ e inmiştir (litrede 20 mikrogram). Avrupa Birliği normlarında limit indirme çalışmaları sürmektedir. Nisan 2003 te Japonlar Avrupa Birliği’nden hızlı davranarak sudaki kurşun limitini 0,01 ppm’e (0,01 mg l⁻¹) ye indirmişlerdir. Sonuç olarak boru sistemlerinden geçen su ve atıksu miktarı, hızı, sıcaklığı ve bileşimi sürekli değişmekte olup su idareleri ve malzeme üreticileri yeni şart, standart ve gerçeklerle yüzleşmektedir (Yılmaz, 2008). DAB (Deutsches Arzneibuch, German Dispensatory)’a göre bizmut kurşundan daha az toksiktir. Böylelikle nispeten içme suyuna bizmutun geçişiyle neden olunan konsantrasyonlar, çok az potansiyel sağlık rizikosuna neden

olabilir. Bizmutun mikroorganizmalar ve küçük hayvanlar üzerindeki toksik etkisi kurşununkine nazaran yaklaşık on kat daha azdır. Bizmut, German Regulation on Hazardous Materials'da sağlığa tehlikeli olmadığı şeklinde sınıflandırılmıştır (Waschke, 1997). 1994 yılında OSHA (Occupational, Safety and Health Administration) 20'den fazla insan çalıştıran bütün fabrikaların, temmuz 1996'a kadar, çalışma ortamındaki havanın her m³'ündeki kurşun seviyesini 200 μg 'den 50 μg 'e azaltmasını zorunlu kılmıştır. EPA (Environmental Protection Agency) ise yine aynı yıl, içme suyunda kurşunun çözünmesini standart olarak kabul edilen seviye 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ 'den 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ 'e kadar düşürülmesi konusunda adım atmıştır (Singh, 1994). Ancak yine de bunlara rağmen, Avrupa Bakır Enstitüsü, bölüm 2.5.3'te genişçe anlatıldığı üzere, bizmutun kurşun gibi benzer teknik avantajları sergilemediğini ve teknik uygulamalarda kurşunun yerine kullanılmaması gerektiğini önemle belirtmektedir (European Copper Institute, 2007). Suda kurşun bulunuşunu azaltmak için iki seçenek vardır: Pirince kurşun yerine başka element katmak veya yüzey işlemi ile kurşunu su temas bölgesinden uzaklaştırmak. Geleneksel olarak sıhhi tesisat donanımları kurşunlu kırmızı, yarı kırmızı ve sarı pirinçlerden üretilir. Çok yaygın olarak kullanılan tesisat pirinci %7 kurşun içeriğiyle C84400 ve çok popüler kırmızı pirinç %5 kurşun içeriğiyle C83600'dir. Sıhhi tesisat donanımlarının basınçlı pres dökümü çok yaygın olarak kurşunlu sarı pirinç alaşımı %1,5 kurşun içeriğiyle C85800 ile yapılır. Çevreci pirinç denilen EnviroBrass (SeBiLOY) alaşımları C89510 ve C89520 kısıtlama olmaksızın bütün dökümcüler tarafından geleneksel kurşunlu pirinçlerin alternatifi olarak sıhhi tesisat pirinçlerini üretmekte kullanılabilir (Yılmaz, 2008).

Çizelge 2.10 Çevreci pirinç (EnviroBrass) alaşımları C89510, C89520, C89550'nin Kompozisyonları (Copper. Org, 2009).

ELEMENTLER	C89510	C89520	C89550
BAKIR	86,0-88,0	85,0-87,0	58,0-64,0
KALAY	4,0-6,0	5,0-6,0	1,2
KURŞUN	0,25	0,25	0,1
ÇİNKO	4,0-6,0	4,0-6,0	32,0-38,0
BİZMUT	0,5-1,5	1,6-2,2	0,6-1,2
SELENYUM	0,35-0,75	0,8-1,1	0,01-0,1
NİKEL	1,0	1,0	1,0
DEMİR	0,2	0,2	0,5
ANTİMUAN	0,25	0,25	0,05
SÜLFÜR	0,08	0,08	0,05
FOSFOR	0,05	0,05	0,01
ALÜMİNYUM	0,005	0,005	0,1-0,6
SİLİSYUM	0,005	0,005	0,25

Enviroloy (Bizmut-Selenid) alaşımı, Amerikan Asarco firması tarafından üretilen, Bizmut-Selenyum'un kombinasyonundan üretilmiş gümüş renkli kristalin bir malzemedir. Çevreci pirinç EnviroBrass'ı üretmek için kullanılır (www.Asarco.com).

Çizelge 2.11 Bizmut-selenyum (Enviroloy) kompozisyonun analizi (www.Asarco.com).

BİZMUT SELENYUM	(min) 99,5
KURŞUN	(max) 0,0025
NİKEL	(max) 0,0010
DEMİR	(max) 0,0050
ALÜMİNYUM	(max) 0,0010
SİLİS	(max) 0,0010
KROM	(max) 0,0005
BAKIR	(max) 0,0010
ÇİNKO	(max) 0,0010

Bakır-çinko-kurşun alaşımlarının haddelenmiş veya ekstrüze edilmiş çubukları (Çoğunlukla C36000, C38500, ve C37700) dekoratif malzemelerden, mimari ve güzel sanatlara, mekanik ve elektrik parçalarına kadar, çeşitli ürünlerin üretimi için hem çubuktan işleme hem de dövme sanayi için hammadde olarak hizmet eder.



Şekil 2.21 CuZn39Pb3 ve CuZn40Pb2 alaşımlarından üretilen parçalara örnekler.

2.7 İlgili Standartlar

Otomat pirinçlerinde kolay talaş kaldırma yeteneği ve yüzey kalitesi yükselirken, kesme takımının aşınması ve kesme kuvveti gereksinimi azalır. TS-EN 12164/2002 ve 12165/1998 standartlarında tanımlanan ve Pireks bakır alaşımları san.ve tic.A.Ş tesislerinde ekstrüzyonu yapılan CW 614N ve CW 617N kodlu alaşımlar en yaygın kurşunlu $\alpha + \beta$ pirinçleridir ve yurt içinde ve Avrupa Birliği pazarına gönderilen ekstrüzyon ürünlerinde talep edilmektedir. Söz konusu alaşımlar ASTM-UNS B 16, B 455 ve B 124 standartlarında C37700 ve C38500 otomat pirinçleri ile benzeşmektedir. Kurşun yüzdesi daha düşük olan CW 617N pirinci dövme gibi sıcak şekil verme işlemlerine, kurşun yüzdesi daha yüksek olan CW 614N pirinci ise doğrudan talaşlı imalata daha uygundur. Pireks tesislerinde çinkosuzlaşma direnci yüksek pirinç üretiminde ise CW 602N kodlu ve ASTM-UNS standardında karşılığı C35330 olan CuZn36Pb2As alaşımının üretimi yapılmaktadır.

Müşteriden gelen sipariş şekline göre firma çalışma şartlarını belirleyerek üretim yapmaktadır. Örneğin: EN12164-CW614N-R430S KLAS B denildiği zaman talaşlı şekil vermede kullanılacak CuZn39Pb3 alaşımında olan ve çekme dayanımı 430 N.mm^{-2} , gerilim giderme tavlama yapılmış ve boyutsal toleransları klas B olan ürün istendiği tariflenmiştir. Firma bu koşullara göre üretimini planlar.

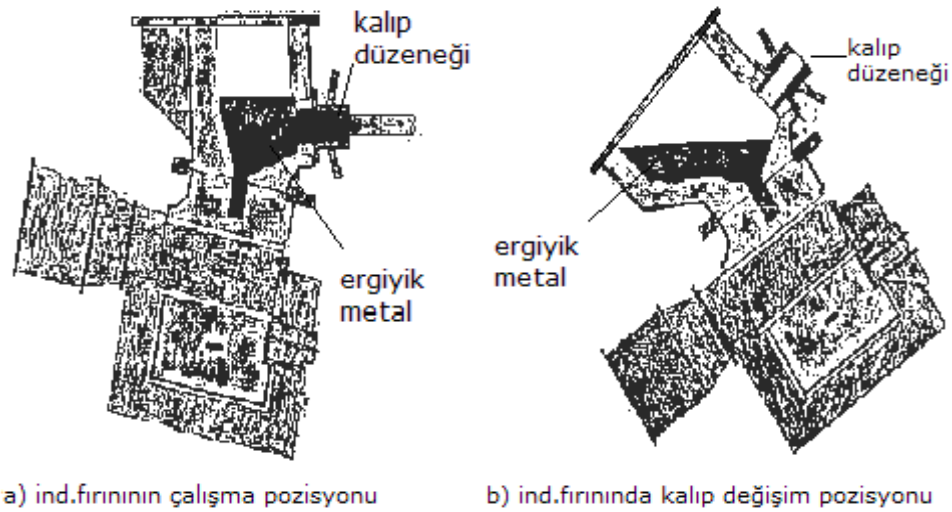
CW 614N, CW 602N ve CW 617N pirinçlerinin standartlarda karşılıkları Ek-1’de, yaygın kullanılan otomat pirinçlerinin ve DZR pirincinin analizleri Ek-2’de, pirinç malzemelerin EN Standartlarında kısa gösterimine örnek Ek-3’de, pirinç malzemelerin EN Standartlarında adlandırılmasına örnek Ek-4’de verilmiştir.

Otomat pirinçleri için ‘‘Ms58’’ terimi eski bir deyim olmasına rağmen hala pratikte tüm dünyada çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağustos 1954’te Standart DIN 17660’da verilen kompozisyon %Cu 57–59,5, %Pb 1–3, %Fe 0,5, %Sn 0,3, %Al 0,1, %Mn 0,2 %Ni 0,5 %Sb 0,02 ve %Zn (geri kalan) olarak sunulmuştu. Bu özel kompozisyondan 1974’te farklı uygulamalarda kullanılmak üzere hala var olan üç malzeme analizi türetildi. Bunlar: CuZn39Pb2, CuZn39Pb3, CuZn40Pb2’dir. ‘‘Ms58’’ terimi kadar eski olup bugün yine yaygın kullanılan diğer bir terim ‘‘Tombak’’, Ms70’dan Ms95’e kadar en az %70 Cu içerikli bakır alaşımlarını ifade eder.

3. SÜREKLİ DÖKÜM

3.1 Bakır Alaşımı Takozların Yatay Sürekli Dökümü

Pirinç takozların yatay sürekli dökümünün başlatılması kırk yıldan daha uzun bir zaman önce olmasına rağmen, bakır takozların bu yöntemle üretilmesi düşey döküm prosesiyle karşılaştırıldığında hala bir istisna olarak karşımıza çıkar. 1969 yılında Finlandiya'da Outokumpu Oy'un The Pori Works fabrikasında, yatay sürekli döküm yöntemiyle, haddeleme ve sıcak ekstrüzyonla çubuklarını üretmek için Ms58 pirincinin yanı sıra %2 Al ve %76 Cu içeren ve ısı değiştiricileri için tasarlanmış özel bir pirincin takozları üretilirken, pirinç ve nikel gümüşü tel çubukları ve mangan ve demirin eklentileriyle %10 Ni'li Nk110, %30 Ni'li Nk130 bakır nikel boruları da dökülebilmekteydi. 1963 yılında yatay sürekli döküm ile ilgili ilk denemeler başladığında çalışmaların odağı (bugün de olduğu gibi) ekipmanı geliştirmekti. The Pori Works'da ergitme ve döküm işlemlerinin her ikisini de yürütebilecek şekilde kombine edilmiş bir kanallı indüksiyon fırını bu operasyona, döküm şartlarının kontrolü daha iyi sağlanabildiği için adapte edilmişti. Fırın silindirler vasıtasıyla devriliyordu. Kalıp, fırının ön duvarına bağlanmıştı ve kalıp değişimi yapılacağı zaman, fırını devirmek suretiyle, ergiyik metalden bağımsız olarak hareket edebiliyordu. Sık kalıp değişimleri gerektiğinde bu, çok önemli bir faydaydı. Fırın çalışma pozisyonu için devrildiğinde kalıp, geri çekme ekipmanıyla aynı hatta geliyordu. Ergiyik metal kalıbı dolduruyor ve geri çekme operasyonu başlıyordu.



Şekil 3.1 The Pori Works'un indüksiyon fırını a) Çalışma pozisyonu ve b) Kalıp değişim pozisyonu (Lohikoski, 1970).

Biri takozlar, çubuklar ve borular diğeri de şerit levha dökümü için tasarlanmış iki model çekme makinası, döküm hattıyla aynı hatta yer alan, aşındırıcı kesim tekeri kullanılan testere hattı ve tel çubukları sarmak için iki farklı model sargı makinası da yatay sürekli döküm ünitesini tamamlayan diğeri ekipmanlardı. Bu ünite, The Pori Works'da aylık 50 ton tel çubuk veya yaklaşık 250 ton 100 mm çapında takoz üretebiliyordu (Lohikoski, 1970). 1960 yılında Hollanda'nın güneyi Drunen'de Lips Company adı altında pirinç üretimine başlayan Lips Drunen Metal, LDM, 1982'de pirinç çubuk ve bakır boru üretimini, ana şirketten ayırarak, bu isim altında devam ettirmeye başlamıştı. 1990 yılında İsveç madencilik şirketi Boliden tarafından satın alınan LDM, 2004 yılında Finlandiya'lı paslanmaz çelik üreticisi Outokumpu'ya, satıldı. Outokumpu Copper LDM B.V., bugün, ergitme fırınları ve bir tutma fırınından oluşan dökümhanesinde, 30.000 tonu yüksek kaliteli pirinç çubuk ve takoz üretimi olmak üzere, yıllık 80 farklı alaşımla 50.000 ton üretim kapasitesiyle adından söz ettiren kuruluşlardan biridir. LDM yakın zamanda enerji tüketiminden tasarruf sağlamayı ve daha yüksek kaliteli ürünlerin dökümünü başarmayı olanaklı kılan yeni tutma fırınına devreye aldı. Yine şirket, yayınladığı 2008 bültenine göre, yatay sürekli döküm prosesinin en önemli unsurlarından birine, yeni bir takoz kesim testeresine yatırım yapmıştır. (www.ldmbrass.com).



a) yatay sürekli döküm tesisi

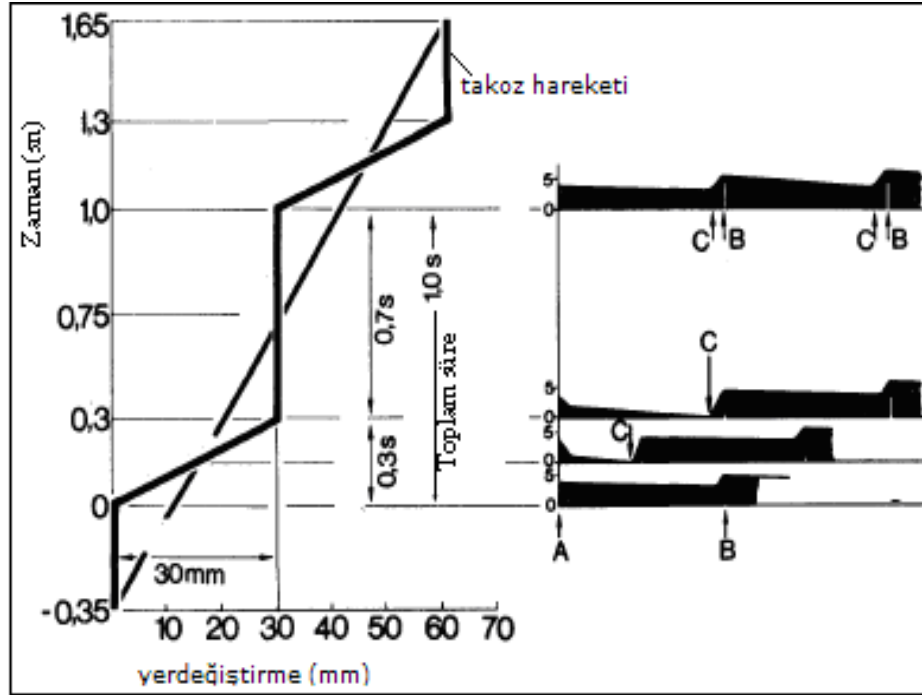


b) yeni testere makinası

Şekil 3.2 Outokumpu Copper LDM B.V. yatay sürekli döküm ünitesi ve yeni devreye alınan takoz kesim testere makinası (www.ldmbrass.com).

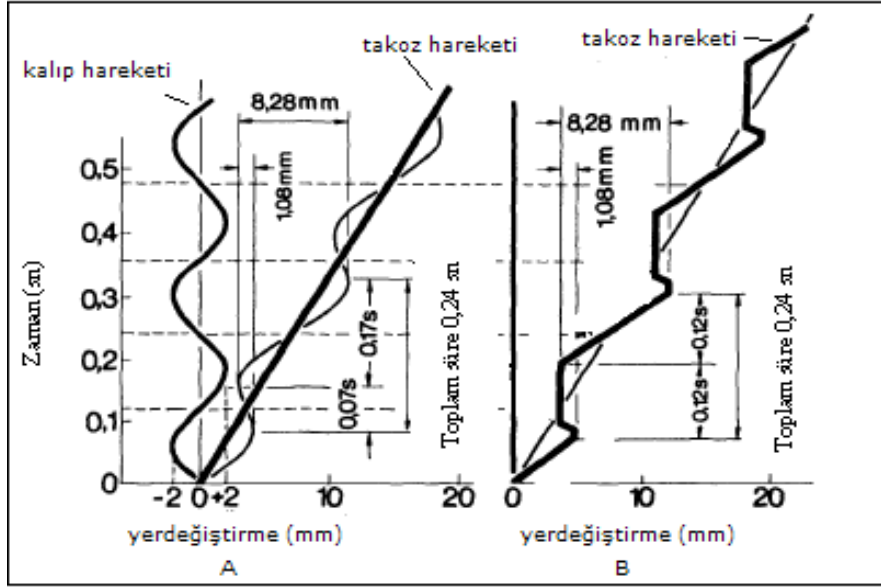
Krupp Stahl AG'nin 1980'lerin başında karar vermesinden sonra bakır ve bakır alaşımlarının deneysel çalışmalarının gerçekleştiği salınlı kalıp yatay sürekli döküm tesisi Krupp Industrietechik GmbH tarafından kurulmuş ve geliştirilmişti. Şekil 3.3'de döküm hızı 1,8 m

dak^{-1} ve toplam çekme hareketi süresi 1,0 sn olan ve “Dur ve çek” çekme hareketinden meydana gelen takoz hareketiyle ilişkili kabuk oluşumu gösterilmektedir (Heinke vd., 1985).



Şekil 3.3 “Dur ve çek” hareketinden oluşan çekme periyodunda takoz hareketi ve kabuk oluşumu (Heinke vd., 1985).

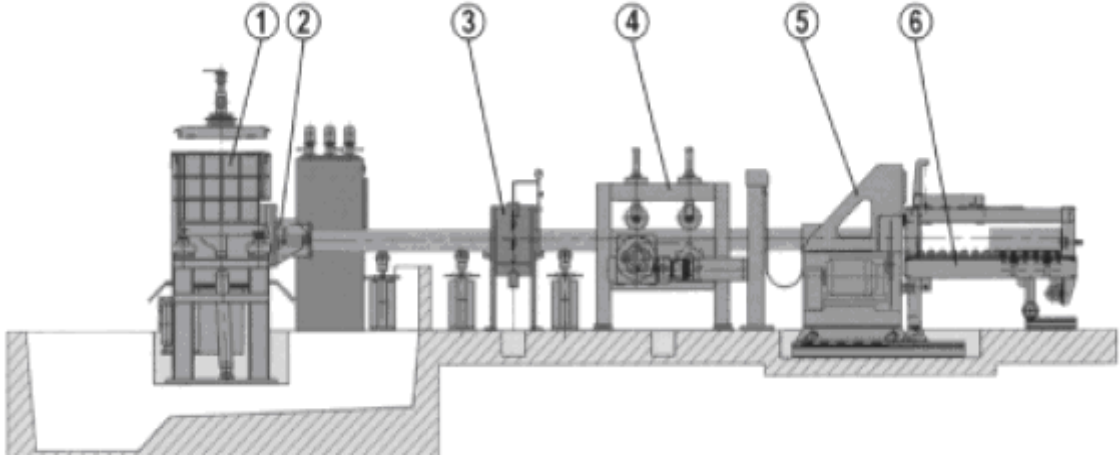
Her bir çekme hareketinin başlangıcında yeni kabuk oluşumu A noktasında başlar. Önceki çekme adımından eski katılaşmış kabuk B noktasında gösterilmektedir. B noktasında soğuk döküm olarak adlandırılan bir soğuk kaynak birleşimi oluşur. A ve B noktalarının arasında sıcak nokta olarak adlandırılan bir C noktası vardır. Bir sonraki çekme periyodu boyunca takoz kırılmasından sakınmak amacıyla takoz kabuğunun C noktasında yeteri kadar büyümesine izin vermek için “durma” veya “yenilenme” periyodunun mutlaka uygulanması gerekiyordu (Heinke vd., 1985). Soğuk döküm ve sıcak nokta, gerekli yüzey şartları tarafından ağır malzeme kayıplarına neden olan katılaşmış kabuktaki çatlakları yaratmaya eğilimlidirler. Bu problemin üstesinden gelmek için; sıcak noktanın bir sıcak nokta çatlakları yaratmasını önlemek amacıyla yenilenme süresi ve soğuk dökümün soğuk döküm çatlakları yaratmasını önlemek amacıyla toplam çekme hareketi süresi minimumda tutulmak zorundaydı. Şekil 3.4’de, bahsedilen önlemlerin iki farklı metotla nasıl başarıldığı gösterilmektedir. Soldaki (A) hareketi; salınlı kalıp ve sürekli, sabit bir hızda çekme hareketini temsil etmektedir. Sağdaki (B) hareketi; “Dur ve çek” hareketinin modifiye edilmiş hali, “Çek-dur-it” hareketini temsil etmektedir. Her iki çekme hareketi de en kısa çekme hareketi süresi 0,24 sn vermektedir (Heinke vd., 1985).



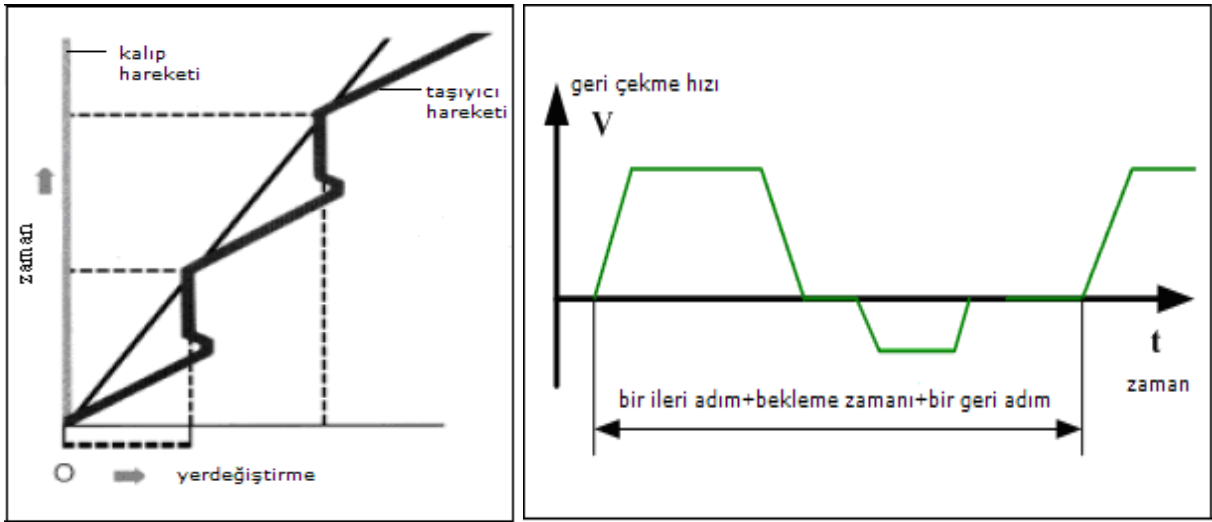
Şekil 3.4 İki farklı yatay sürekli döküm kalıp ve takoz çekme hareketi (Heinke vd., 1985).

Yine yüksek kaliteli pirinç takoz üretiminde Avrupa'nın en büyük fabrikalarından biri, pirinç üretimindeki tarihi 1607 yılına dayanan ve bugün Hexagon ve Outokumpu'nun ortak girişimiyle adlandırılan İsveç'teki senelik 40.000 ton pirinç kapasiteli Outokumpu Nordic Brass'tir (www.Outokumpunordicbrass.com). Ancak bakır takozların yatay sürekli dökümü için yeni bir tesis SMS Meer Technica tarafından 2005 yılında işletmeye alındı ve üretime başladı. SMS Meer GmbH, 1872 yılında kurulduğundan beri boru, çelik, demir dışı metal ve dövme endüstrisi için tesisler geliştirip, inşa etmektedir.

Demag- Technica fabrikalarının tarihine bağlı olarak bakır ve bakır alaşımlı takozların yatay sürekli dökümü için iki farklı teknoloji mevcuttur. Şekil 3.5 Technica- Guss'un 1960'lı yılların başlarında geliştirdiği computocast teknolojisini uygulayan yatay takoz döküm tesisini göstermektedir. Bu döküm hattı, indüksiyon ısıtmalı tutma fırını (1) ile ona bağlı kalıplar (2), takozların ısı etkisine karşı ekipmanları korumak için küçük bir ikincil soğutucu ünitesi (3), geri çekme makinesi (4), takozları direkt olarak ekstrüzyon boyutlarına getirmek için kesen bir kesme hattını da gözlemleyen proses kontrol kabini (5), testere hattının arkasına, kesilen takozları ya ambara ya da direkt olarak ekstrüzyon presine taşımak için ek bir taşıma sistemli döner konveyör banttan oluşmaktadır (6). Taşıyıcıların periyodik geri çekme hareketleri Computocast teknolojisini karakterize eder. Şekil 3.6'daki her bir geri çekme periyodu ileriye doğru hareketin ardından genelde bir veya iki bekleme zamanı ve geriye doğru hareketten oluşur (Brey, 2001).

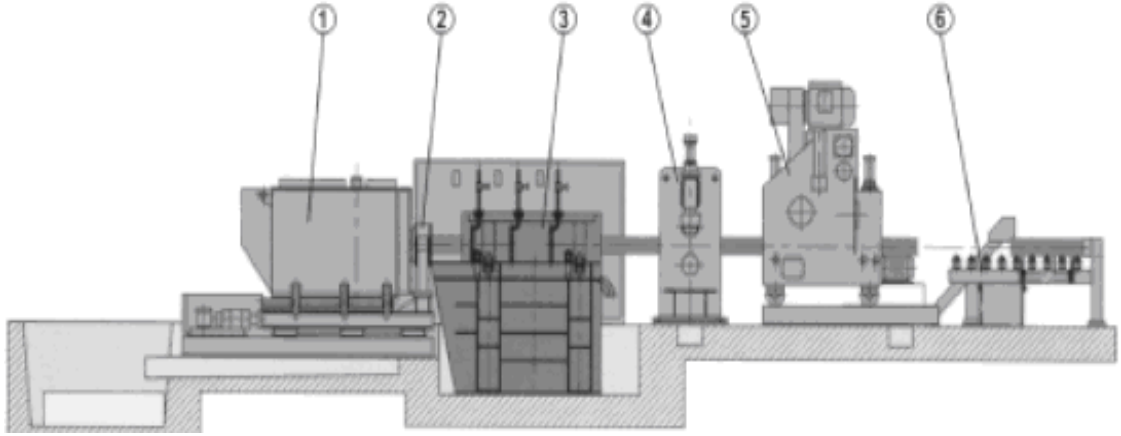


Şekil 3.5 Computocast sisteminin fabrika yatay konum şeması (Brey, 2001).

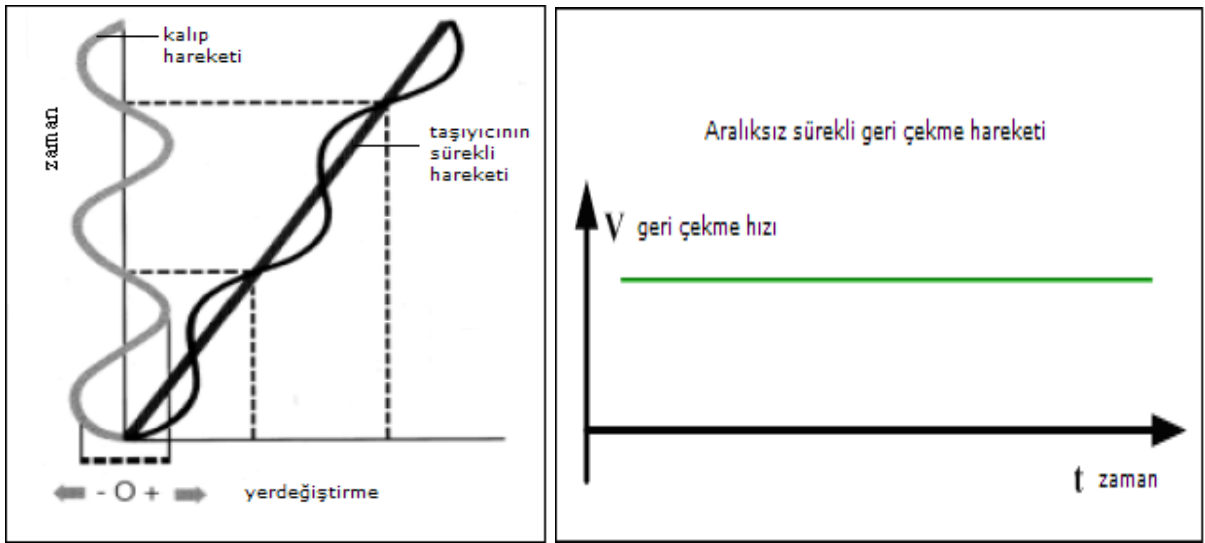


Şekil 3.6 Computocast sisteminin geri çekme hareketi (Brey, 2001).

Krupp şirketi tarafından geliştirilen Hom-Tec teknolojisi dikey sürekli döküm prosesinden türetilmiştir. Bu teknolojinin Endüstriyel uygulamaları 1980’lerde başladı. Şekil 3.7’deki Hom-Tec teknoloji döküm fabrikası planı temel olarak Computocast sisteminden esinlenmiştir. İki sistem arasındaki en büyük fark geri çekme hareketinin tipidir. Şekil 3.8’de gösterildiği üzere taşıyıcılar sabit bir hızla sürekli geri çekme hareketiyle çekilir. Sürekli döküm kalıpları ile beraber tutma fırını titreşimli bir hareketi meydana getirir. Bu, yatay titreşimli kalıp teknolojisini ifade eden Hom- Tec adını temsil eder. Geri çekme metodu ve kalıplara yakın kuvvetli ikinci soğutma düşey sürekli dökümden devralınmışlardır. Bunu takiben dikkatler, üretilebilirliğin artışıdaki büyük katkıyı, kalite optimizasyonunu, aynı zamanda üretim ücretlerindeki kesintileri temsil eden bazı gelişmelere odaklanmaktadır (Brey, 2001).



Şekil 3.7 Hom-Tec sisteminin fabrika yatay konum şeması (Brey, 2001).

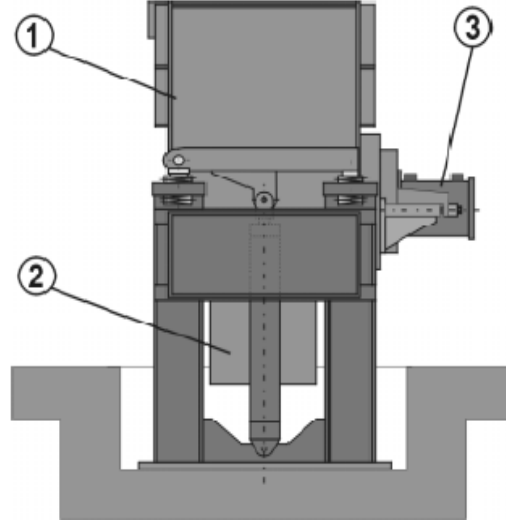


Şekil 3.8 Hom-Tec sisteminin geri çekme hareketi (Brey, 2001).

Basınç Kontrollü Tutma Fırını Bakır ve bakır alaşımları için yatay sürekli döküm ünitesinde ısıda tutma fırınının önemli görevi, sürekli ve ergitme operasyonundan bağımsız olarak sabit ve kontrollü bir sıcaklıkta sıvı ergiyik sağlamaktır. Genellikle kalıp direkt olarak tutma fırınına bağlıdır. Sabit döküm şartlarını muhafaza edebilmek amacıyla ergiğin sürekli ısıtılması zorunludur. Bunun için ya geleneksel kanal tip indüktör bağlanmış ya da yatay kanallarla indüktör entegre edilmiş tek odalı fırınlar ve çok odalı fırınlar kullanılır. Yatay indüksiyon kanallarının bir avantajı içeriye kalıp bölgesine daha iyi ısı geçişidir. Sıvı metal akışı ve kanalların düzenlenmesinden beri proses daha fazla ısıyı döküm odasına tedarik etmektedir. Ama bu geleneksel tutma fırını tiplerinin bazı dezavantajları vardır. Açık fırın genellikle önemli ölçüde cüruf ve buna bağlı olarak büyük miktarda ısı kaybı üretir. Dahası biçimlenen takoz kabuğundaki metalostatik basınç sabit değildir, kalıpta stabil olmayan soğuma şartlarına neden olur. Tek tarafında sıvı metali muhafaza eden ve diğer tarafı sıvı

metali sabit metalostatik ve ısısal şartlar altında kalıba besleyen kapalı bir tutma fırını kullanmak daha akıllıca olacaktır (Bebber ve Pillipps, 1998).

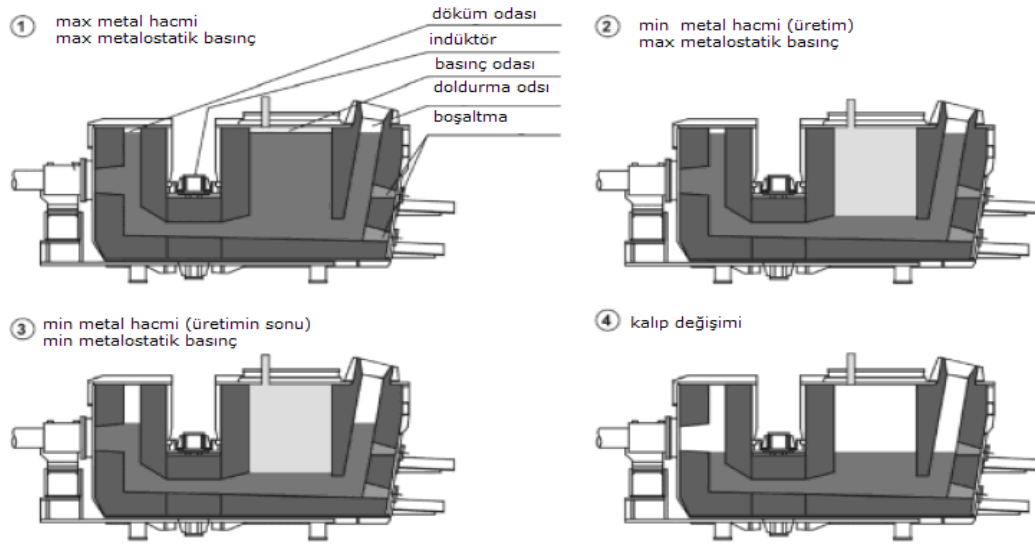
Çok iyi biliniyor ki, sürekli döküm kalıpları üzerindeki sabit metalostatik basınç yüksek kaliteli dökümleri üretmek için çok faydalıdır. Şekil 3.9 geleneksel bir tutma fırınının şemasını göstermektedir. (1) ince üst kapak, (2) indüktör ve (3) kalıpları ifade eder. Bu tür fırınlarda kalıpların üzerindeki metalostatik basınç metal dolum seviyesine bağlıdır. İndüksiyon ocağından alınan ergiyeğin transferi yüzünden metal seviyesi döküm boyunca değişir. Bu, kalıptaki metalostatik basıncın değişkenlik göstermesine ve yeniden doldurma boyunca katılaşma, kalite ve operasyon güvenliğinde dikkat çekici bir etkiye sahip olan güçlü bir metal türbülansına neden olur (Brey, 2001).



Şekil 3.9 Geleneksel tutma fırını (Brey, 2001).

Basınç kontrollü tutma fırını eşsiz 3 odalı dizaynıyla geleneksel fırının kısıtlamalarının üstesinden gelir ve aynı zamanda daha yararlıdır. Şekil 3.10 dolma odası, basınç odası, döküm odasından oluşan bir basınç kontrollü tutma fırını göstermektedir. Bu fırının sıvı metali muhafaza odası (basınç odası) tamamen kapalı ve basınç altında tutulmaktadır. Buradan sıvı metali sürekli olarak ergiyik metalin yüksek seviyede tutulduğu döküm odasına beslemektedir. Düşey olarak düzenlenmiş İndüktör, basınç odası ve döküm odası arasında ayrı bir ünite oluşturur. Fırın, döküm odasındaki gibi, sıvı metal seviyesini aynı yükseklikte tutan doldurma için dahili bir sifona sahiptir. Döküm prosesine başlamadan önce sıvı metal, 3 odadaki maksimum metal seviyesine ulaşılan kadar dolma odasına boşaltılır. Döküm boyunca fırın boşalır ve kalıplar üzerindeki sabit ergiyik seviyesini muhafaza etmek amacıyla basınçlı gaz, basınç odasına enjekte edilir. Gaz basıncı artar ve yeniden doldurma boyunca

gaz basıncı serbest bırakılır. Kalıplar üzerindeki metalostatik basınç, basınç kontrollü tutma fırınının içindeki doldurma seviyesine bakılmaksızın sabit tutulur (Brey, 2001).



Şekil 3.10 Basınç kontrollü tutma fırını (Brey, 2001).

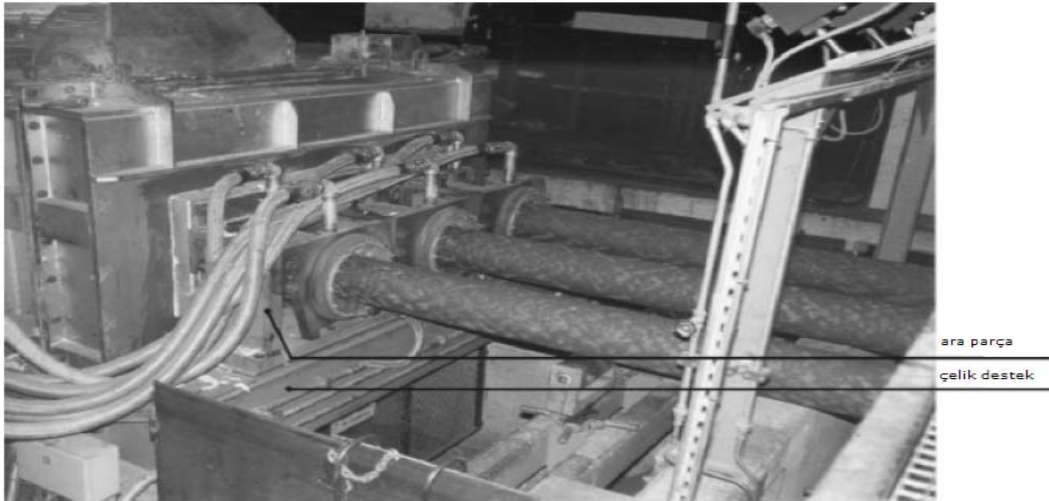
Basınç sayesinde, biçimlenen takoz kabuğunun üzerindeki metalostatik basınç her zaman sabit tutulduğundan, toplam döküm prosesinin kalitesi şimdi yeni bir kaliteye kavuşmuş olmaktadır. Bu teknik olarak ana odadaki gaz basıncını arttırarak ve senkronize bir şekilde döküm prosesini oluşturmasıyla açıklanabilir. Kuru hava veya nitrojen basınç gazı olarak kullanılır. Sürekli olarak yüksek sıvı ergiyik seviyesi kalıbın içinde sıvı metalin daimi yüksek basıncına neden olur. Bu geri çekme prosesini destekler ve takoz kabuğu güçlüce kalıp duvarlarına basınç uygular. Böylelikle kalıp içerisindeki soğuma şartları geliştirilir ve sürekli yüksek döküm oranı sağlanır. Fırın içerisindeki ergiyik kalıp seviyesinin aşağısına indiğinde kalıp herhangi bir problemle karşılaşmadan çabucak değiştirilebilir. Değişimden sonra döküm odası yeniden basınçla doldurulur ve döküm odasındaki döküm seviyesi arzu edilen seviyeye yükseltilir. Fırının yeniden sıvı metalle yüklenmesi, bu süreç boyunca muhafaza odasındaki basınç senkronize bir şekilde şarj prosedürüne indirildiğinden, elbetteki sürekli döküm prosesini etkilemez. Böylelikle sifon seviyesi ve döküm odası hemen hemen sabit tutulur. Fırın dizaynı sayesinde yeni şarj edilmiş sıvı ergiyiğin direkt olarak, ani sıcaklık değişimlerinin olabileceği ve metalik olmayan inklüzyonların oluşabileceği kalıba ulaşmaması çok önemlidir. Böylelikle inklüzyonsuz, uygun sıcaklıkta ve homojenize edilmiş ergiyik kalıba ulaşır (Bebber ve Phillipps, 1998).

Öte yandan ergiyik yüzeyi basınç odasının dar kapağıyla atmosfere karşı iyice kapatılırken, basınç kontrollü tutma fırınının operasyonu çok az cüruf üretimiyle karakterize edilir. Birincisi, fırın neredeyse boşaltılmak zorunda olmadığından kalıp değişiminde bir cüruf

oluşur. İkincisi, tamamen kapalı muhafaza odası sayesinde ihmal edilebilir bir cüruf oluşur. Örnek olarak pirinç dökümünde geleneksel tutma fırınında %1 civarındaki cüruf oluşumu, bu yeni tip tutma fırınında yaklaşık olarak %0,1'e düşer ve fırın iki hafta boyunca tamamen cüruf çıkarımı olmaksızın işletilebilir. Katı empüriteler basınç odası içerisinde muhafaza edilir. Bu yüzden döküm ürünündeki inklüzyonlar dikkat çekici bir şekilde azalır. Yeniden doldurma boyunca ergiyikte oluşabilecek türbülans, kalıplar ve doldurma odası arasındaki büyük mesafe dolayısıyla katılma prosesini etkilemez. Basınç kontrollü tutma fırınındaki metal içeriği fırın tabanına entegre edilmiş ağırlık cihazıyla izlenebilir. Bu metot ergitme fırınından ergiyik transferinin otomizasyonuna izin verir. Üretimin sonunda ergiyik seviyesi 3 odada minimum seviyeye ulaştığında gaz basıncı serbest bırakılır ve ergiyik seviyesi düşer. Bundan sonra takozlar soğutulup çekilebilir.

Basınç kontrollü tutma fırını arka tarafında 2 boşaltma tıpaları bulundurulur. Üst tıpa, aşağıda kalıplara açılan bir metal seviyesine fırının çabucak acil boşalmasına izin verir. Boşaltma tıkaçları olmayan geleneksel tutma fırınının, metal seviyesi aşağıda kalıplara ininceye kadar kepçe ile boşaltılması gereklidir. Takozlar kalıplardan bütün ocağı devirerek, indüktör ve üst bölümün tamamen boşalmasına izin vererek çekilebilir. Basınç kontrollü tutma fırını, Demag-Technica'nın 6 yatay sürekli döküm fabrikasına uygulanmakta olup, operasyonda yıllardır başarısını kanıtlamıştır.

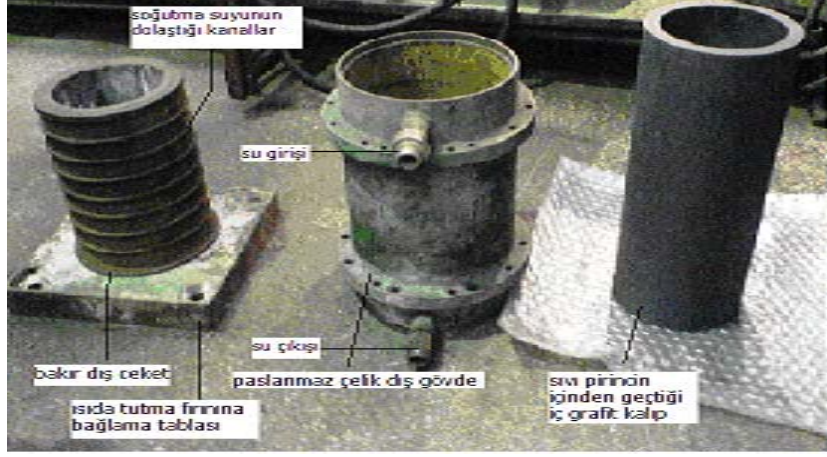
Sabit Kalıp Düzenlemesi Basınç kontrollü tutma fırını sabit kalıp düzenlemesi özelliği taşırlar. Sabit düzenlemenin buradaki anlamı, kalıpların tutma fırınının alt tabanının ön kısmına yerleştirilmiş bir çelik desteğe monte edilmesi anlamına gelir. Sabit kalıplar sadece çelik desteğe sabitlenir ve fırın ön sacına karşı baskı uygular. Sabit soğutucu ve fırın arasındaki ara yüzey esnek conta ile sıkıştırılır.



Şekil 3.11 Basınç kontrollü tutma fırınında sabit kalıp düzenlemesi (Brey, 2001).

Sabit düzenlemenin faydası, fırının ön sacındaki termal ve mekanik deformasyonlar kalıpların hizalanmalarını etkilemez. Böyle bir etkilenmemiş düzen, kalıpların optimum performansını ve aynı zamanda grafit kalıbın uzatılmış hizmet ömrünü temin eder. Sabit kalıp düzenlemesinin daha iyi bir faydası, kolay ve çabuk kalıp değişimi ve hizalanmasıdır. Geleneksel kalıplar ancak tutma fırınına tutturulduktan sonra hizalanabilir. Bunun için bütün tutma fırını yanlamasına ve yüksekliğine ayarlanmak zorundadır. Bu iş sadece döküm fırınının durması sırasında uygulanabilir. Sabit kalıplar yine de kalıp paketini taşıyan bira ara parça ile döküm hattının dışında hizalanabilir. Bu yüzden duruş zamanı oldukça azaltılabilir. Hazırlanmış kalıp ara parça montajı sadece tutma fırınının önündeki çelik desteğe monte edilir. Bu montajın çelik desteğe monte edilmesinden başka bir hazırlığa gereği yoktur. Bu sabit kalıp düzenlemesi fikri Hom-Tec döküm prosesinden devralınmıştır. Bu özel kalıp düzenlemesi ile elde edilen iyi deneyimler sayesinde bugün Demag- Technica'nın bütün yatay sürekli döküm sistemi için uygulanabilir yapılmıştır (Brey, 2001).

Bakır takozların yatay sürekli dökümünde ergitme fırınından ısıda tutma fırınına alınan ergiyik metal, ilk katılaşmasını, tutma fırınına 90°'lik bir açıyla bağlı su soğutmalı grafit kalıbın içerisinde yapar. Grafit ergiyik metalin iki fazını da bir arada gören ve sıvı fazdan katı fazına geçişi soğutma işlevini de yerine getirerek sağlayan yegane malzemedir. Grafit izostatik ve her noktada aynı özelliğe sahip olması nedeniyle döküm uygulamaları için metale yapışmayan ender malzemelerden biridir. Grafit 3300 °C'ye kadar katı halde kalabilen ve ıslak yüzeyleri metal ile uyumlu çalışabilen tek malzemedir (Carbone Lorraine, 2009). Grafitin katılaşan sıvı metale zayıf yapışma özelliği göstermesi, grafit kalıbın düşük ıslanabilirliği ile başarılıdır. Grafit, en az bir metal kadar iyi ısı iletim katsayısına sahiptir. Kalıp boyunca takozu soğutmak için transfer edilmiş ısıнын değeri, katılaşma oranını ve dökümün çekme hızını belirler. Kalıp malzemesinin ısı iletkenliği hızlı ısı yayılımını sağlamak için yeteri kadar yüksek olmalıdır. Grafit bir katı yağlayıcıdır ve ek yağlayıcı malzemesi kullanmaksızın bu özelliği sayesinde kalıp yüzeyi ve katılaşan metal arasında başarılı düşük sürtünme; durgun, çatlaksız ve kusurlu kabuk kalınlığını minimize eden bir geri çekme hareketini sunar. Kalıptaki hızlı soğutma, ıslanabilirliği arttıran katılaşan metal ve kalıp arasındaki kontak zamanını azalttığından grafit kalıbın ömrünü de uzatır. Grafit, mekanik olarak işlenmesi ve yüzeyinin parlatılmasına çok müsaittir. Kullanılacak grafitin seçiminde döküm kesiti, döküm hızı, alaşımın içeriği, dökümün yönü (yatay veya dikey) çok önemli bir yol göstericidir (www.Substech.com). Örneğin pirincin dökümünde kullanılacak grafitin yoğun ama çinko buharını taşıyabilecek olmasına dikkat edilir (Carbone Larroine, 2009).



Şekil 3.12 Pirinç takozların yatay sürekli dökümünde kalıp düzeneği.

Otomatik Soğutma Suyu Sağlayıcısı Kalıpların dolaylı soğutulması ile katılaştıran taşıyıcıdan çıkan sıcaklık miktarı soğutma suyu akış oranı ve kalıp çıkış ve girişi arasındaki soğutma suyu sıcaklık farklığının matematiksel hesabı ile belirlenir. Operasyon sırasında taşıyıcılardan çıkan sıcaklığın miktarı, tutma fırınının içindeki ergiyeğin periyodik aşırı ısınması ve döküm hızının değişmesiyle dalgalanmalar yaşar. Düzensiz soğutma ürün kalitesini kötü etkiler. Bir gelişmiş soğutma suyu dağıtma sistemi, kalıpların içerisindeki soğutma suyu akışının otomatik düzenlemesine izin verir. Kalıpların çıkış yerindeki soğutma suyu sıcaklığı, motorize edilmiş akış kontrol valflerinin işletmesi için belirli bir değer olarak hizmet eder. Bu sıcaklık önceden seçilmiş belirli değerden değişir. Uygun su akışını sağlamak amacıyla motorize edilmiş valfler otomatik olarak açılır veya kapanır. Her bir taşıyıcı ayrı ayrı düzenlenir. Bu sabit bir ürün kalitesi veren dökümün üretimine neden olur. Aynı zamanda insan hatalarının tehlikeleri azaltılır ve işletme personelinin sürekli dikkati artık daha fazla gerekli olmaz. Soğutma suyu dağıtım sistemi, motorize edilmiş akış kontrol valfleri, sıcaklık ölçüm araçları ve akış ölçerleri içine alır. Bu sistem, sadece ana şebekeye ve birbirine bağlı borulara bağlanmak zorunda olmanın dışında tamamen montaj edilmiş bir ünite olarak tedarik edilir. Soğutma suyu sıcaklığı ve akış oranı merkezi kontrol panelinden izlenebilir.

Kalıp ayırıcıların uniform kullanımı ve uygulama kalınlıkları, sıvı metal sıcaklığı, döküm hızı ve soğutma suyu kalitesi geri çekme hareketi süresince merkez hattı boşuklarının oluşumunu minimize etmek için kontrol edilmek zorundadırlar. Homojen bir mikroyapı için uniform ısı çıkarımı çok önemlidir.

Sürekli döküm prosesinde alaşımın katılaşması su soğutma sistemiyle kontrol edilir. Soğutma sistemi tarafından yapılan etkili ve üniform ısı yayılımı alaşımların yüksek hızda dökülebilmesine izin verir. Bu, ince ve homojen tane yapılı döküm kalitesini verirken

üretilebilirliği artırır. Takoz yüzeyindeki kusurlu kabuk katmanının kalınlığını inceltir. Soğutma sistem suyunun basıncı, akışı, sıcaklığı, iletkenliği, alkalitesi, toplam sertliği, bulanıklılığı, ph ve mineralleri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Sürekli döküm ünitesi soğutma suyu sistemleri, koruyucu ısısal bariyer olarak uygulanan grafit ve yağlarla kirletilir. Bu kirletilmiş su; Tesisin ürün üretiminde ve kalıp ömründe azalmaya, soğutma kulelerinin, pompa ve ısı değiştiricilerin bakım ve onarımlarında, su kullanımında artışa, kablo kopmalarına ve ekipmanlarda korozyonu başlatarak tesisin ömründe azalmaya neden olmaktadır. Bu yüzden sürekli döküm ünitesinin soğutma suyu yumuşatma ve filtrasyon işlemlerini uygulayan sistemlerden geçirilmelidir. Bu sistemlerin faydaları ise; çalışanın sağlık ve güvenliğinin artırılması, sıfır atıksu, ürün kalitesinin ve üretimin artırılması, ekipman korozyonunun azaltılması, bakım ve onarım maliyetlerindeki azalmayla işletme maliyetlerinin düşürülmesi olarak özetlenebilir (Spence, 2005).

Proses Kontrol Bugün sürekli döküm fabrikaları için proses kontrol sistemlerindeki gereksinimler geri çekme hareketi ve kalan ekipmanın çalıştırılmasını aşmaktadır.

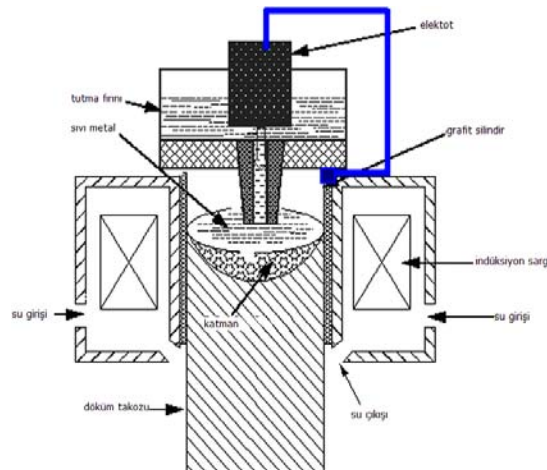
- Artan işçi ücretleri yüksek işletme güvenliği tarafından eşlik edilen otomasyon döküm prosesine ihtiyaç duyar.
- Uluslararası kalite standardı ISO 9000 döküm prosesinin şeffaflığını ve tekrarlanabilirliğini talep ettiğinden proses bilgileri arşivlenmek zorundadır.
- Alaşımların ve/veya döküm kesitlerinin değişimini hızlandırmak ve kolaylaştırmak amacıyla proses parametreleri iptal edilebilir programlar formunda olmalıdır.

Demag-Technica'nın yatay sürekli döküm tesisleri proses kontrol sistemi tabanlı bilgisayar sistemi ile donatılmıştır. Geri çekilme makinesi, testere hattı ve takoz taşıma gibi her işletme elemanı ayrı bir sistem tarafından kontrol edilir. Kontrol parametreleri, bilgisayar sistemindeki operatör panelinden her ünitenin kendi sistemine transfer edilir. Bütün döküm prosesi operatör panelinden izlenebilir. Döküm prosesinin başlamasından sonra ya hafızaya alınmış bir program ile ya da yeni girilmiş parametrelerle döküm fabrikası otomatik işletmeye geçirilebilir.

Elektromanyetik Karıştırma Sürekli artan endüstriyel uygulamalar üstün mekanik ve kimyasal özellikleri ile özel pirinçleri gerekli kılar. Bu tip özellikleri kazanmak amacıyla bakır ve çinko'dan oluşan geleneksel pirinçler alüminyum, demir, nikel, silisyum ve/veya mangan ile alaşımlandırılır. Bu yüksek alaşımlı pirinçlerin bazıları sürekli döküm sırasında güçlü segregasyona eğilimlidirler. Bu nihai ürün kalitesini de etkileyebilir.

Elektromanyetik karıştırma uygulaması homojen ve iyi tane yapısına neden olarak bu problemin çözümüne katkı sağlar. Karıştırıcı ünitesi içerisindeki indüksiyon sargısı, döküm takozları halka biçimli ünitelerden geçerken ergiyiğin döner hareketine neden olan bir elektromanyetik alan üretir. Bakır alaşımları iyi ısıl iletkenlikleri sayesinde genellikle çok çabucak katılaşır. Büyük çaptaki takozlar dahi soğutuculardan ayrıldıktan sonra hemen hemen tamamen katılaşır. Bu yüzden elektromanyetik karıştırıcı ünitesi soğutucularla eşeksenli olarak mümkün olduğu kadar fırına yakın yerleştirilir (Brey, 2001).

Elektromanyetik döküm (EMC) isimli bir teknoloji ilk olarak Getselev (1971) tarafından uygulandı ve elektromanyetik kalıpta sürekli döküm, endüstride çok geniş uygulamalar buldu. EMC prosesi, içyapıları inceltmek ve segregasyonu azaltmak amacıyla magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları ve bakır alaşımlarının sürekli dökümüne uygulandı. Temel olarak mikro yapının inceltilmesini ve ingotların yüzey kalitesini geliştirmeyi amaçlamış olan döküm, tane inceltme ve elektromanyetik proses (CREM), Vives (1989) tarafından 1980'lerin sonlarında tanıtılmıştı (Yu vd., 2009). Zhiming, vd. (2008), bakır içi boş takozların yatay sürekli dökümü boyunca, kalıp dışarısında uyguladıkları alternatif manyetik alan ile ergiyikte bir elektromanyetik alan oluşturarak takozların homojen olmayan sütünsal tane yapısını, homojen eşeksenli tane yapısına dönüştürmeyi başardılar. Ancak döküm hızı, döküm sıcaklığı ve soğutma şiddetinin alternatif manyetik alanın etkinliğine etkileri olduğunu da gözlemlediler (Zhiming vd., 2008). Xintao, vd. (2007), bakır takozların yatay sürekli dökümü boyunca, ilk defa yeni bir proses olarak, kalıp dışarısında bir döner elektromanyetik alan uyguladılar. Bu, üretim etkinliğini ve son ürün kalitesini kötü etkileyen ve takozun mekanik özelliklerini bozan sütünsal kaba tane yapısını inceltmeyi başarmıştı. Ve ayrıca bu yöntemle, takozun yüzeyinde oluşan salınım izlerinin derinliğini de hafifleterek yeterince düzgün bir yüzey kalitesine ulaşmayı da başardılar (Xintao vd., 2007).

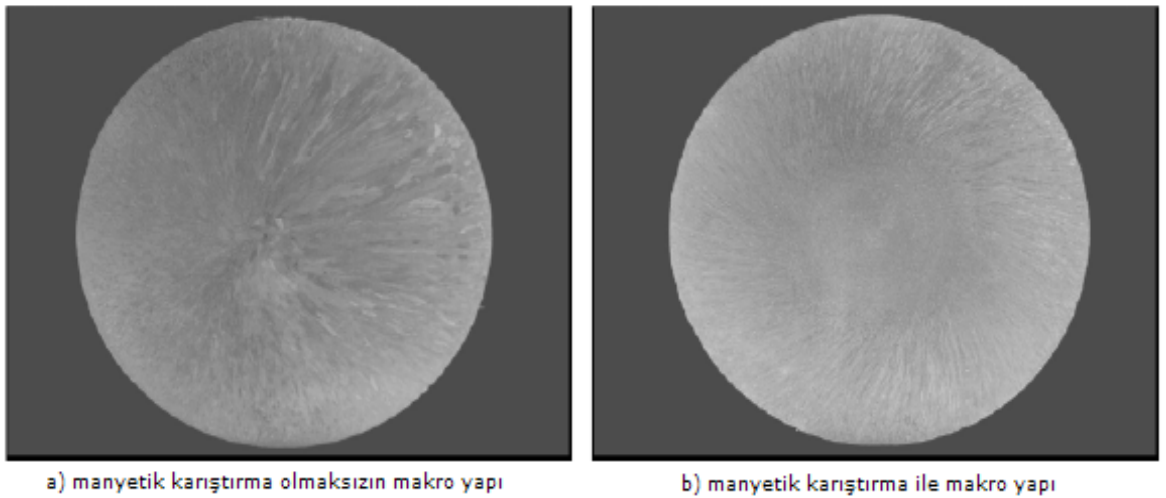


Şekil 3.13 Elektromanyetik alanlar altında bakır takozların sürekli döküm şeması (Yu, 2009).

Yu, vd., (2009), AC+EMCC isimli yeni bir metodun, bakır takozların katılaşma yapısı, mekanik özellikleri ve yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırdılar. Şekil 3.13’de verilen şemada döküm kalıbı silindirik şekillidir ve paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Kalıbın içine bir grafit silindir gömülmüştür. Ergiğin içerisinde alternatif manyetik alanı oluşturan bir indüksiyon sargı, kalıbın çevresine döşenmiştir. Elektromanyetik kuvvetleri arttırmak için kullanılan AC akımı, ergiğin içine direkt olarak daldırılan bir grafit elektrot vasıtasıyla uygulanmıştır. Bu, AC+EMCC olarak adlandırılan, bakır takozların elektromanyetik sürekli dökümü boyunca kalıptaki ergiye direkt olarak 50 Hz alternatif akım uygulayarak yeni bir elektromanyetik kuvvet oluşturmaya dayalı yeni bir metottur. Burada üretilen kuvvet güçlüdür ve ergiyikte güçlü bir ısı yayılımı ve titreşim oluşturarak homojen olarak dağıtılır. Isı yayılımı ve titreşim ısı transferini teşvik edecek ve ergiğin akıcılığını arttıracaktır. Gelişen sıcaklık dağılımı takozun yüzey kalitesinin gelişimi için faydalıdır. Ergiyikte artan ısı yayılımı ve titreşim, alaşımın katılaşması için çok yararlıdır.

Sonuç olarak; yatay sürekli döküm fabrikaları ister Computocast ister Hom-Tec sistem olsun; basınç kontrollü tutma fırını, bir sabit kalıp düzenlemesi, bir otomatik soğutma suyu dağıtım sistemi aynı zamanda bir modern proses kontrol ünitesi ile küresel piyasa için gerekli rekabet gücünü temin eder. Elektromanyetik karıştırma geliştirilmiş ürün kalitesinin faydalarıyla ek yatırımı hak eden bu olaylara uygulanabilen bir teknolojidir (Brey, 2001).

Avrupa’da SMS Meer GmbH tarafından yeni işletmeye alınmış, modern bir yatay sürekli döküm tesisinde üretilen bir pirinç kütüğün elektromanyetik karıştırma uygulanmadan (a) ve elektromanyetik karıştırma uygulanarak (b) elde edilen makro yapısı Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14 SMS Meer GmbH tarafından üretilmiş pirinç takozun makroyapısı (Brey, 2001).

4. KURŞUN KATKILI %60 BAKIR -%40 ÇİNKO İÇEREN PİRİNÇ TAKOZLARIN

YATAY SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ

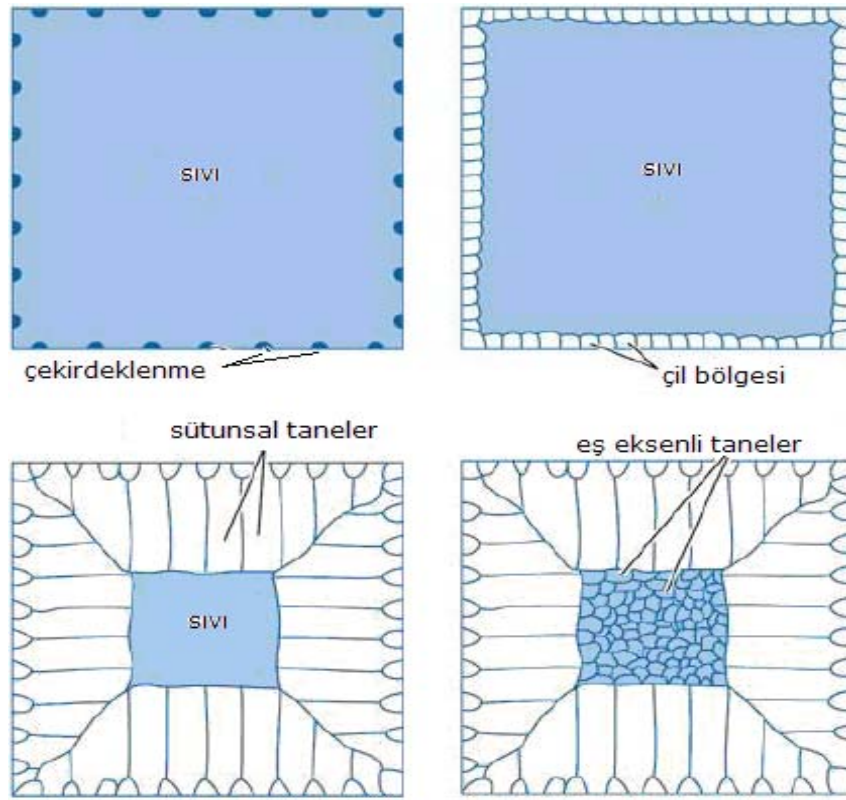
4.1 Dökümlerin Yapısı

Katılaşmakta olan bir metalde kararlı bir çekirdek teşekkül ettikten sonra büyüme kademesi başlar. Katılaşma tamamlandığında taneler birbirleriyle temas ederek birkaç atom boyutu genişliğindeki tane sınırlarını meydana getirirler. Katılaşmış metaldeki kristaller tane, bunların arasındaki geçiş bölgesi ise tane sınırı olarak nitelendirilmektedir. Muhtemel çekirdeklenme yerleri veya çekirdek sayısı katı metaldeki tane yapısını belirler. Eğer çok az sayıda çekirdeklenme olursa, nihai döküm yapısı az sayıdaki büyük tanelerden meydana gelir. Çekirdeklenme yeri ve sayısı artışı ile çok ince bir tane yapısına ulaşılabilir. Malzemelerin birçok özellikleri, özellikle mekanik özellikler, tane boyutu ve tane şekline bağlı olduğundan döküm yapıları büyük bir önem kazanmıştır. Hemen hemen bütün mühendislik malzemelerinde, yüksek mukavemet ve özelliklerde homojenlik sağladığından ince taneli yapılar istenir. Ayrıca çözünenin farklı şekillerde yeniden dağılımlarının bir sonucu olan segregasyon da önemli bir etkiye sahiptir. Birçok dökme çok kristalli katılarda (döküm parça ve ingot) değişik tane yapısına sahip üç farklı bölge tanımlanabilir. Bunlar:

- Çil bölgesi: sınır katmanı ve kalıp duvarıyla komşu rastgele yönlenmiş küçük ve eş eksenli kristaller.
- Kolonsal bölge: ısı akışına paralel dizilen uzamış kristallerin bandı.
- Eş eksenli bölge: Uniform kristalli merkezi bölge.

Tane boyutunun küçük olması halinde eş eksenli bölgenin özellikleri izotropiktir. Bu bölgedeki tane boyutu çil bölgesinden doğal olarak büyüktür. Çil bölgesi normal olarak sadece birkaç tane boyutu kalınlığında olup sınırlı bir etkiye sahiptir. Eğer tane kontrolündeki amaç izotropiyi sağlamak ise ince taneli eş eksenli yapı elde edilmelidir. Bu durum ise kolonsal büyümenin durdurularak eş eksenli bölgenin oluşmasının teşvik edilmesi ile sağlanır. Diğer taraftan anizotropik özelliklerin istenmesi halinde yapının ağırlıklı olarak kolonsal olması gerekir. Farklı bölgelerin nisbi oranları; alaşım bileşenleri, döküm sıcaklığı, soğutma hızı gibi döküm değişkenleri değiştirilerek kontrol edilebilir, ingot yapısı kolonsal yapıdan

tamamen eş eksenli yapıya dönüştürülebilir. Yüksek katılaşma hızları ince tane yapılı ve mekanik özellikleri yüksek dökümlerin üretimini sağlamaktadır.



Şekil 4.1 Katılaşma esnasında ingot yapısının oluşması (Akbulut, 2006).

Sıvı metaldeki çekirdeklenme ve büyüme şartları kristallerin tüm yönlerde büyümelerine fırsat vermesi halinde eş eksenli taneler meydana gelir. Eş eksenli çil taneleri genellikle soğuk kalıp duvarına bitişik olarak bulunurlar. Katılaşma başlangıcında kalıp duvarı civarında oluşan çok yüksek derecelerdeki altsoğuma, aşırı derecede hızlı çekirdeklenmeye yol açarak eş eksenli tane yapısının teşekkülü için uygun koşulları oluşturur. Dökümlerin yüzeylerinde bu şekilde oluşan eş eksenli ve ince tanelerden oluşmuş bölge çil bölgesi olarak adlandırılır. Kolonsal taneler uzun, ince ve kabadır. Bu taneler sıvı içerisinde sıcaklık gradyanının yüksek (dik) ve katılaşma (soğuma) hızının düşük olması halinde meydana gelirler. Kolonsal taneler, yüksek sıcaklık gradyanının varlığı nedeniyle kalıp duvarına dik ve ısı transferi yönüne paralel olarak büyürler. Geleneksel bir metotla dökülen bir dökümde, yüzeyden merkeze doğru çil bölgesi, kolonsal bölge ve eş eksenli bölge bulunur. Kolonsal büyümenin sonuna doğru, merkezde sıvı halde bulunan metalin sıcaklığında bir düşme görülür, dik sıcaklık gradyanları kaybolur ve alaşım elementi zenginleşmesi olduğundan yapısal aşırı soğuma veya çökme neticesinde

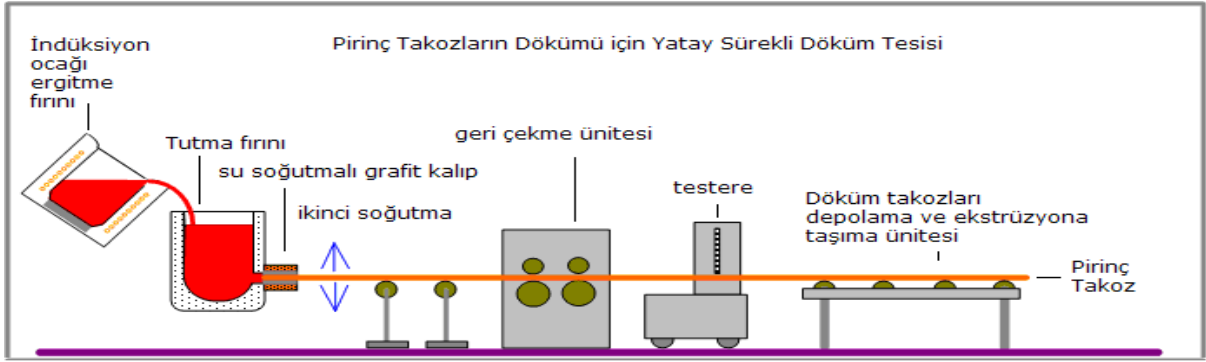
bağımsız çekirdeklenme meydana gelir ve bu çekirdekler çil bölgesindeki tanelere göre daha büyük boyutlu eş eksenli taneleri meydana getirirler (Döküm Metalurjisi Ergime ve Katılaşma Ders Notları).

4.2 Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirinç Takozların Üretimi

Hangi son ürün olursa olsun metallerin üretim aşamalarının başlangıcında çoğunlukla döküm vardır. Dökümden elde edilen ürün bir son ürün de olabilir veya sürekli dökümde olduğu gibi son ürüne dönüştürülmek üzere daha sonraki üretim aşamaları için bir başlangıç malzemesi de olabilir. Şekil 4.2’de pirinç alaşımları için kanallı tip indüksiyon ergitme ocağı, su soğutmalı grafit kalıp bağlanmış ısıda tutma fırını, ikinci soğutma suyu dağıtım ünitesi, geri çekme hareketini organize eden ünite, hareketli testere ve çıkan takozları depolayıp, ekstrüzyon ünitesine taşıyan konveyör ünitesi ile tipik bir yatay sürekli döküm tesisi görülmektedir. Yatay sürekli pirinç takoz dökümü göz ardı edilemeyecek ve böylelikle geliştirilmiş döküm kalitesiyle üretimin sonraki adımlarını da olumlu etkileyecek aşağıdaki unsurları bünyesinde barındıran karmaşık bir süreçtir.

- Sıvı ve katı içerisindeki akış ve ısı taşınımı,
- Yüzey geriliminin, geri çekme hareketinin ve yerçekiminin etkilerini içeren serbest sıvı yüzeylerin ve arayüzeylerin dinamik hareketi,
- İnklüzyonların, baloncukların ve porozitenin taşınımı,
- Büyüyen hava boşluğunu da içererek katılaşmış kabuk boyunca ısı taşınımı,
- Katılaşmış kabuğun ısısal büzülmesi,
- Katılaşmış kabukta gerilim süreci,
- Çatlak oluşumu,
- Hem mikroskobik hem de makroskobik segregasyon,
- Faz dönüşümü.

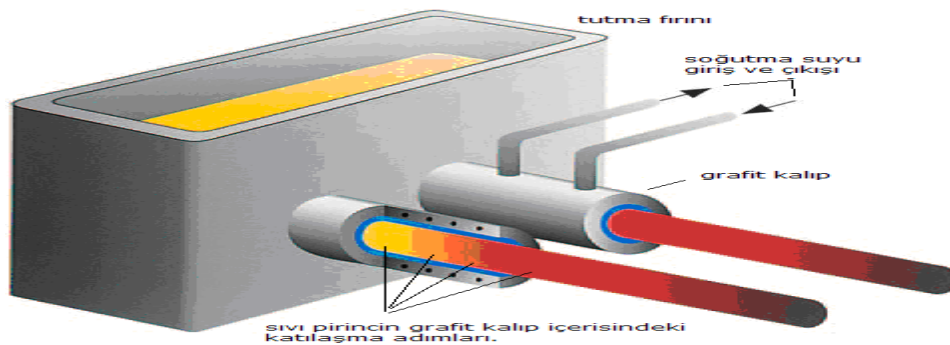
Döküm prosesindeki farklı değişkenlerin etkilerini anlayarak işletme parametreleri ve döküm kalitesi arasındaki ilişkiyi bulmak, yatay sürekli pirinç dökümcüsüne, geliştirilmiş yüzey ve içyapı kalitesinin sunduğu başarılı bir döküm uygulaması ile üretilebilirlikteki ve dolayısıyla karlılıktaki artış olarak yansıyacaktır (Mahmoudi, 2005).



Şekil 4.2 Pirinç takozların yatay sürekli dökümü (www.substech.com).

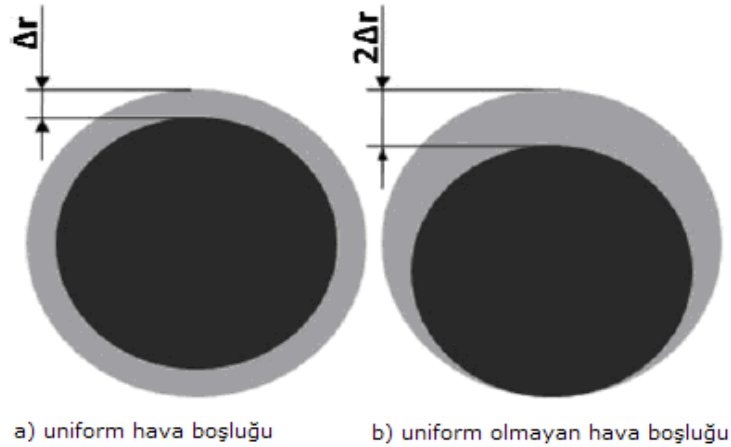
4.2.1 İlk Katılaşma Süreci

İndüksiyon ocağından, gerekli döküm sıcaklığını muhafaza ederek sıvı metalin rezarvuarı gibi davranan ısıda tutma fırınına aktarılan sıvı pirinç alaşımı, ısıda tutma fırınına 90°'lik açıyla bağlı su soğutmalı grafit kalıbın içerisinde ilk katılaşmasını yapar. Su soğutmalı kalıp düzeneği; paslanmaz çelik dış gövde ve içerisine geçirilmiş, üzerinde soğutma suyunun dolaşmasına imkan veren su dolaşım kanallarının bulunduğu bakır dış ceket ile bunun içine gömülmüş ve sıvı pirinçle temas halinde olan iç grafit kalıptan oluşur. Sürekli dökümde katılaşma temelde bir ısı yayılımı sürecidir. Katılaşma, sıvılaşma ve katılaşma sıcaklıkları arasında cereyan eder. Sürekli dökümde katılaşma süresince soğuma şartlarının değişmemesi katılaşma yüzeyinin kalıp içindeki konumu ve şeklinin hep aynı kalmasını sağlar. Dolayısıyla döküm, tüm uzunluğu boyunca hep aynı geometrik şekle sahip bir sıvı-katı ara yüzeyi oluşturarak katılaşır. Bütün takoz uzunluğu benzer soğuma şartlarına maruz kaldığından takozun yapısı dendritik ama uniformdur. Prosesin temeli suyla soğutulan kalıpta pirinç ergiyeğin akışı ve yüksek soğuma hızıyla takip edilmesidir. İlk katı kabuk tabakanın oluşumu ve büyümesi, bir yanda katılaşma davranışını anlamak diğer yanda döküm hızıyla ilişkisi yüzünden kalıbın uzunluğunu belirlemek ve kalıbın geometrik dizaynı için çok önemlidir.



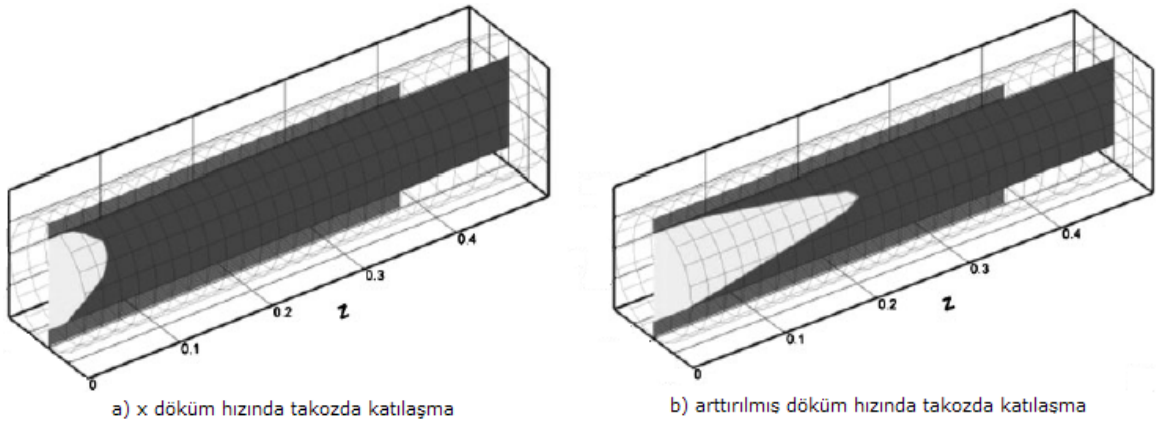
Şekil 4.3 Sıvı pirincin grafit kalıp içerisindeki katılaşma adımlarını gösterir şema (C.Loraine).

Isı, sıvı bölgede iletimle ve yayınımla transfer edilirken katı bölgede temelde iletimle transfer edilir. İlk katılaşmış katmanın oluşumu bir karmaşık süreksiz ısı transferidir. Şekil 4.6'da görülen sıvı-katı ara yüzeyinde tane boyutunun ve katılaşma hızının enine kesit boyunca dağılımı görülmektedir. Başlangıçta sıvı metal kalıba değdiği anda hızlı soğumadan dolayı katılaşma hızı yüksektir. Kalıpla temasla sıvı metal donmaya başladığından bir katı kabuk oluşacak ve katılaşan bölgenin büzülerek iç kısımlara doğru ilerlemesi ile oluşan hava boşluğu yüzünden katılaşma hızı düşecek, tane boyutu artacaktır. Oluşan boşluk, kalıp-döküm ara yüzeyinde büyüyecektir. Kalıba ısı akışı kabuk ve kalıp arasında oluşan boşluğun doğasıyla kontrol edilir. Takozun çevresinde takozun ağırlığı yüzünden uniform olmayan hava boşluğu oluşumu takoz çapında azalmayı beraberinde getirir. Takozun alt noktasında hava boşluğunun daralması hatta kapanmasının sonucu olarak, katılaşma takozun merkezinde simetrik olmayacaktır (Şekil 4.4). Sonuçta ilk katı katman boşluğun üzerinde oluşur. Bu boşluk artmaya devam ederken metalostatik basınç tarafından üretilmiş yük artar. Bu yük artık ergiyik yüzey gerilimi ile desteklenemez ve sıvı metal boşluğu doldurmak için acele eder. Boşluk sıvı metalle ilk doldurulduğunda katılaşmış malzemenin önceki halkasının soğumuş yüzeyiyle temas, çekirdeklenmeye ve çubuğun eksenini boyunca bir yönde katı metalin büyümesine neden olacaktır. Aynı anda soğutulmuş kalıpla temas çekirdeklenmeye ve bir radyal içeri yönde katının büyümesine neden olur. Bu iki büyüme ara yüzeylerinin bulunduğu yer, mikroyapıda bir ayrılma hattı biçimlenir.



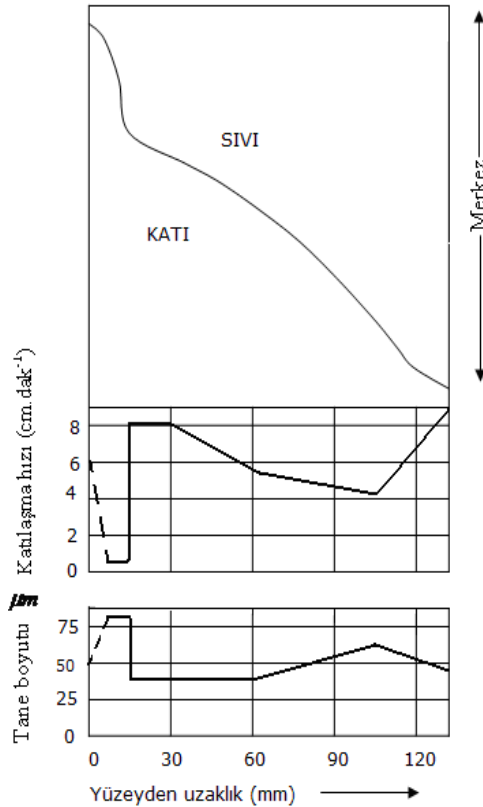
Şekil 4.4 Uniform ve uniform olmayan hava boşluğu oluşumu (Kianfar vd., 2009).

Katılaşmış bu katı kabuk sadece ısı radyasyonu ve doğal ısı yayınımla soğutulur. Bir ergiyik dolaşım bölgesi kalıbın ilk birkaç santimetresi içerisinde gelişir. Katılaşma bu bölgede başlar. Bu kritik alandaki dolaşım bölgesi bir çeşit katılaşma kusurunun nedeni olabilir. Bu dolaşım bölgesinin derinliği döküm hızına bağlıdır.



Şekil 4.5 Farklı döküm hızlarında takozun katılaşması (Kianfar vd., 2009).

Hız vektörleri paralel olur ve yatay olarak yönlendirilir. Katı fazdaki yatay yönlenme çekme hareketinin vektörlerini temsil eder. Döküm hızındaki bir artış ergiyik dolaşım alanının uzunluğunda bir artışı doğurur. Döküm hızındaki artış katılaşma cephesini daha dik yaparak kalıbın dışarısına doğru taşır. Kalıbı geçtikten sonra takoz yüzeyinin sıcaklığı artar ve takozun yeniden ısındığı gözlenir. Direkt soğutma olarak ikinci soğutma bölgesi takozun tamamen katılaşmasına neden olacaktır (Mahmoudi, 2005).



Şekil 4.6 Katılaşma hızı ve tane boyutu değişimi.

Sürekli hareket eden metal soğutma bölgesine geldiğinde artan ısı transferi nedeniyle katılaşma hızı yükselir ve tane boyutu azalır. Tane boyutunun homojen olmasının sağlanması için hava boşluklarının azaltılması, dolayısıyla katılaşma hızının enine kesiti boyunca değişimi en aza indirilmelidir. Eğer kalıp gereğinden fazla derin ya da metal seviyesi yüksekse hava boşluğu erken oluşur ve dolayısıyla yüzey hataları meydana gelir. Hava boşluğunun olumsuz etkilerinin azaltılması için sıvı gölcüğünün sıkı tutulması gerekir. Böylece büyük miktardaki ısı dar bölgeden alınır ve dökülen parçanın enine kesitinin homojen olması sağlanır. Katılaşmada iki ana adım vardır. İlki hemen kalıpla sıvı metallerin teması ile oluşur. Katılaşma hızı çok yüksektir ve ara yüzey direnciyle sınırlanır. Katı kabuk kalınlıkça büyürken ara yüzey direnci önemini kaybeder ve ikinci adıma girilir. Bu adımda katı kabuk boyunca ısı iletimine karşı ısısal direnç, katılaşma hızını, azaltarak kontrol eder (Mahmoudi, 2005).

4.2.2 Döküm Sıcaklığı, Döküm Hızı ve Soğuma Etkilerinin İncelenmesi

Döküm sıcaklığı önemli bir parametredir ve genellikle ergiyik metal giriş sıcaklığı ve aşırı ısınma denilen katılaşma sıcaklığı arasındaki farkla ifade edilir. Aşırı ısınmadaki bir artışla katılaşma cephesi daha ileriye kalıp çıkışına taşınır. Merkez ve yüzey sıcaklıkları daha yüksek kalabilir. Katılaşma oluşmadan önce ergiyik metallerin giriş sıcaklığı ısı miktarının çıkarılmasına katkı yapar.

Kalıp soğutma etkisinin değişimleriyle katılaşma cephesi önemli ölçüde değişir. Soğuma etkisindeki bir artışla katılaşma süresi azalır ve daha yüksek soğuma etkisi daha kısa ergiyik havuzu oluşturur. Bu, üretilebilirliği arttırmak için daha yüksek soğuma etkisinin kullanılmasının zorunluluğu anlamını taşır. Kalıptaki soğuma etkisinin artışıyla yüzey daha soğuk kalır.

İkinci soğutma etkisi, katılaşma kalıbın ötesinde bir mesafede sonlanacağından takozun yüzey sıcaklığını ve döküm yapısını belirlemede önemli bir rol oynayacaktır. Merkez ve yüzey sıcaklığı takoz yüzeyindeki ısı akışına bağlıdır. Kalıbı geçtikten sonra daha az soğutma uygulandığında takozun yüzeyi boyunca sıcaklık artar. Takoz yüzeyindeki ısı akışı/ısı transfer şartlarını değiştirerek ve takozun yeniden ısınmasından sakınmak için ikinci soğutma ünitesini kullanarak, yüzeydeki sıcaklık dağılımını değiştirmek ve döküm uzunluğu boyunca sürekli bir sıcaklık düşüşü elde etmek mümkündür. İkinci soğutma döküm malzemesinin sıcaklık

profilinde kuvvetli bir etki sergileyebilmesine rağmen katılma cephesi hemen hemen değişmeden kalır.

Döküm hızı daha düşük olduğunda, daha yüksek döküm hızlarıyla karşılaştırıldığında, daha kısa sıvı metal havuzunu oluşturur. Döküm hızı, döküm malzemenin hem merkez hem de yüzeyindeki sıcaklık profilinde önemli bir etkiye sahiptir. Genellikle geri çekme hızındaki bir artışla döküm malzemenin çıkış yüzey sıcaklığı daha yüksek kalır. Bu, doğal olarak, birim zamanda soğutulmak zorunda olan sıcak ergiyik metalin daha büyük akışına neden olur. Döküm hızındaki bir artışla katılma cephesi kalıbın çıkışına doğru taşınır. Kalıptan ayrılan takozun %1'den daha azı katılmıştır (Mahmoudi, 2005). Döküm hızındaki bir artışla üç sebepten dolayı kalıp ısı akışı artar. Birincisi, yüksek döküm hızları daha fazla ergiyik metali kalıba tedarik edecek ve bu, daha uzun katılma zamanına ve sıvı ergiyiğin kalıpta daha kısa bulunma zamanına işaret edecektir. Bu etkiler, çekme hareketi süresince kolaylıkla kırılabilir daha ince, daha zayıf bir katılmış kabuğun biçimlenmesine neden olacaktır. İkincisi, sıvı ergiyiğin kalıpta daha kısa bulunma zamanı takoz çekme kuvvetini arttıran daha yüksek takoz yüzey sıcaklığına neden olur. Üçüncüsü, daha yüksek takoz kabuk sıcaklığında boşluğun büyüklüğüne katkıda bulunmayarak kalıp-takoz temasını geliştiren daha az ısısal büzülme olacaktır (Hui-ying vd., 2008).

4.2.3 Döküm Kalitesiyle İşletme Parametrelerinin İlişkisi

Pirinç takozun döküm kalitesi ve işletme parametreleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için etkili operasyon kriterleri aşağıda sıralanmıştır:

- Soğutma suyu giriş ve çıkış akış hızı
- Isı akışı,
- Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı,
- Döküm sıcaklığı,

Elbetteki döküm kalitesinin belirlenmesinde tek bir parametrenin değil bütün parametrelerin etkileri beraberce değerlendirilmelidir. Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları arttıkça döküm kalitesi kötüleşir, arzu edilen döküm kalitesinden uzaklaşılır. Sıcaklık dalgalanmaları önemli bir değişken olarak etki eder ve sıcaklıklardaki dalgalanmaları mümkün olduğu kadar düşük tutmak daha iyi bir döküm kalitesine ulaşmak için şarttır. Suyun mevsim değişikliklerinden kaynaklanan sıcaklık değişimleri arasındaki fark %45'ten fazla olmamalıdır. Soğutma suyu

giriş ve çıkış akış hızları ve ısı akışları birbiriyle yakından ilişkilidir, en iyi döküm kalitesine ulaşmak için bu kriterlerdeki maksimum değerleri elde etmek gereklidir. Soğutma suyu giriş ve çıkış akış hızlarındaki dalgalanmaları da en az seviyede tutmak yine en iyi döküm kalitesine ulaşmada etkin rol oynar. Sağlam bir dökümün alınabileceği en küçük sıcaklık değeri arzu edilen döküm kalitesini elde etmek için yeterli olacaktır (Mahmoudi ve Nabati, 2006).

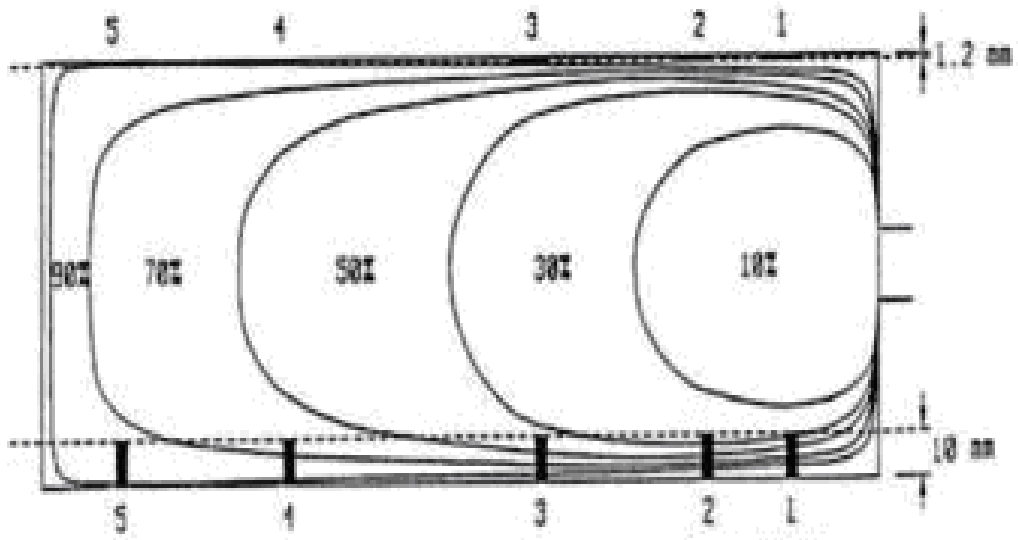
4.2.4 Grafit Kokile Etki Eden Faktörler

Yatay sürekli döküm tesislerinde grafit kokil ve soğutucu farklı yük ve soğutma koşulları altındadır. Toplam ısı verimi; sürekli döküm sıcaklığı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı gibi işletme parametrelerinden belirlenir. Kesikli sürekli döküm ilerleyişinden meydana gelen bir gerilim artışı da vardır. Grafit kokiller ve bakır soğutucular birbirlerine vidalanmalı ya da diğer uygun kaynak teknolojisi yöntemleriyle mümkün olduğunca çatlaklar olmadan birbirlerine bağlanmalılardır. Grafit kokil ve soğutucu arasındaki çatlak oluşumu olayının soğutma özellikleri için belirleyici bir etkisi vardır. Farklı malzemelerin doğrudan kaynak edilmesi sırasında ısı yükler sebebiyle birçok problem ortaya çıkar. Burada ısıl gerilmelerin yanı sıra grafit kokilin ve soğutucunun vidalanmalarına rağmen ilerleyen safhalarda birbirleriyle doğrudan temas içinde olmadıkları ve çatlaklar oluştuğu gözlenir. Kokilin içinden geçen homojen olmayan ısı akımı ısıl gerilmelerden ve deformasyondan ortak olarak sorumludur. Sıcaklık sıçramaları sebebiyle döküm-kokil ve kokil-soğutucu arasında açıkça görülebilir temas ve çatlak dirençleri oluşur. Soğutucunun başlangıç bölgesinde ani soğutmadan kaynaklanan gerilim artışı fark edilir. Kokiller yüksek sıcaklık ve sıcaklık değişimi nedeniyle maksimum bir uzama ve büzülme gösterirler. Soğutucuya birçok küçük sıcaklık ve sıcaklık değişimi etki eder. Soğutucu ve kokiller, kokillerin döküm yönünde kaymasını engelleyen vidalarla bağlıdır. Aynı zamanda engelleyici ısıl uzamalar yoluyla gerilmelerde meydana gelir. Vida birleşim alanında kolay artan bir gerilim düzeyi de bulunur. Soğutulan tarafta vidalar yüzünden oluşan gerilim başlangıcının bölgesel etkisi gözlemlenir. Kokil kalınlığı ısıl ve mekanik davranışlar için belirleyici olan bir anlam ifade eder. Döküm çıkış sıcaklığı, beklenildiği gibi, kokil kalınlığı ile artar bu arada soğutma verimi de düşer. Soğutma veriminin oldukça küçük değişimleri kokillerin toplam ısı direncine küçük bir katkı ile açıklanabilir: Kokiller döküm ve soğutma suyu arasındaki toplam ısı direncine yaklaşık %2 oranında katkıda bulunur. Kokil kalınlığı ile birlikte gerilmeler de artar. Gerilmelerin temel nedeni, engel oluşturan ısıl uzamalardır. Kokil kalınlığının yanı sıra vidaların konumu

da önemli bir etkiye sahiptir. Vidalar döküm yönüne ters olarak kaydırıldığında yüksek sıcaklık tarafından daha fazla yük altında olurlar. Döküm yönünün tersi yönünde değiştirildiklerinde ise kokiller üzerindeki yük hafifler. Aynı zamanda döküm çıkış sıcaklığı kolayca düşer. Temel anlamda kabul edilen vida konumu, döküm yönüne ilişkin olarak soğutucunun neredeyse ortasında ve katılma cephesinin arkasında bulunmaktadır (Welzel vd., 1996).

4.2.5 Takozun Kabuk Kalınlığının Önemi

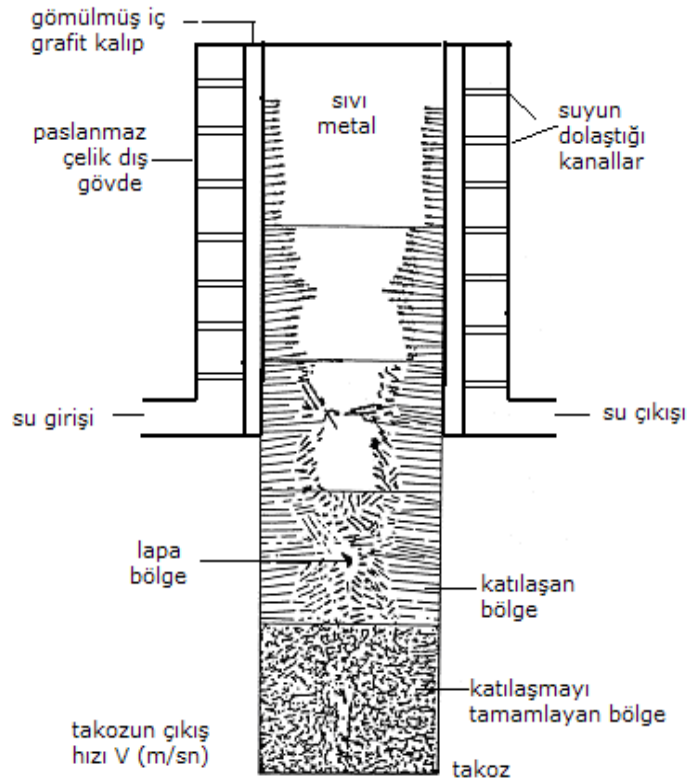
İnce kabuk kalınlığına sahip takoz ile kalın kabuk kalınlığına sahip takozun ekstrüzyon prosesi sırasında nasıl bir performans gösterdiğini Şekil 4.7'deki diyagram açıklar. İnce ve kalın kabuklu takozlarda beş farklı bölgenin, ekstrüzyonun farklı aşamalarında profil içine nasıl akacağı gösterilmiştir. Diyagramın üst yarısında 1,2 mm derinlikte ince kabuk kalınlığına sahip olan takoz gösterilmiştir. 10 mm kabuk kalınlığına sahip olan takoz ise diyagramın alt yarısında gösterilmiştir. Dikkat edilirse; kabuk kalınlığı 10 mm olduğu zaman takoz sadece % 22 oranında profil içine hareket edebilirken kabuk kalınlığı 1,2 mm olduğu zaman %80–90 oranında kalıp içinde hareket edebilmektedir. Ayrıca toplam alan olarak da düşünüldüğü zaman 178 mm çapa sahip bir takozda; 10 mm kabuk kalınlığı olduğu zaman toplam alanda %21,20 oranında azalma meydana gelirken 1,2 mm kabuk kalınlığı olduğu zaman toplam alanda %2,6 oranında bir azalma meydana gelmektedir (Turbalıoğlu, 2008).



Şekil 4.7 İnce ve kalın kabuk kalınlığına sahip takozların ekstrüzyon sırasındaki performansları (Turbalıoğlu, 2008).

4.2.6 Maksimum Sürekli Döküm Çekme Hızı ve Bağlı Olduğu Kriterler

Kokilden dışarı çıkan malzeme (ingot) ince bir kabukla çevrilidir, iç bölge ergime sıcaklığının biraz üzerinde sıvı metalle doludur. Dökümün sürekliliğinin sağlanabilmesi için ingotun içindeki ergiyiği çevreleyen kabuğun ferro-statik (hidrostatik basınç kavramını anımsatması için böyle bir deyim kullanılmıştır.) basınçtan ileri gelen zorlanmaları kaldırabilmesi lazımdır. Kabuğun kalınlığı ve sıcaklığı kokil içerisinde geçen zamana (kokil boyu H , çekim hızı V ise, bu zaman aralığı H/V 'ye eşittir.) Ferrostatik basıncın da kokil boyuna bağlı olduğu göz önüne alındığında bir sürekli döküm makinasının en ilginç ünitesini döküm kokilinin oluşturduğu anlaşılır. Basit olarak, sürekli döküm kokili dıştan soğutulan bir boruya benzetilebilir. Bu borunun kesiti daire olabileceği gibi kare, dikdörtgen veya çokgen olabilir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, kokil iç içe iki gömlektir. Bu iki gömlek arasında soğutma suyu dolaşır. Kokil içinden gelerek oluşmuş kabuk üzerinden kokil iç gömleği iç cidarına erişen ısı akımı, bu iç gömleği de katederek soğutma suyuna erişir. İngotun kokil çıkış hızı V büyüdükçe sıvı metali çevreleyen kabuk inceleyeceğinden (çünkü kokil içerisinde kalma zamanı daha azdır ve kabuğu zorlayan ferrostatik kuvvetler de sabit kaldığından) döküm sürekliliğinin devamı için bu hızın bir limit değeri olmalıdır.



Şekil 4.8 Sürekli döküm kokilinde takozun katılaşma süreci.

Çeliklerde yarı sürekli döküm yöntemini teorik olarak irdeleyen bir literatür çalışmasında, bir maksimum sürekli döküm çekme hızı ($V_{\max.}$) bulunduğu ve bunun aşağıdaki (1) no'lu bağıntıdan tahmin edilebileceği belirtilmiştir (Dinçer, 1983).

$$V_{\max.} = \frac{1}{g} \frac{165}{D^2 \rho_r} \left[\frac{2X(t_r - t_k)}{r \rho_k} \right] \quad (1)$$

Bu bağıntıda;

g = Sürekli döküm makinasının çalıştığı ortamdaki yer çekimi ivmesi

D = Dökümün dış çapı

ρ_r = Malzemenin döküm sıcaklığındaki yoğunluğu

X = Malzemenin katılaşmış kabuktaki ısı iletim katsayısı

t_r = Malzemenin ergime sıcaklığı

t_k = Malzemenin kabuk sıcaklığı

r = Malzemenin ergime ısısı

ρ_k = Malzemenin kabuk sıcaklığındaki yoğunluğu

δ_s = Dökümün kalıbı terk ettiği noktadaki kabuk sıcaklığına denk gelen malzeme çekme mukavemeti değerleridir.

Dr.-Ing.H D. Faber 1972 yılında Aachen Teknik Üniversitesi Haddecilik ve Dökümcülük Fakültesinde sürekli döküm hızının nelere bağlı olduğunu tesbit etmek için yaptığı bir seri deneylerde aşağıdaki sonuçlara varmıştır. Dr. Faber'e göre sürekli döküm çekim hızı,

- Kütüğün formuna,
- Kütüğün kesitine,
- Sıvı metalden kokil vasıtası ile soğutma suyuna akan ısı akışı şiddetine,
- Sıvı metalin cinsine,
- Kokil çıkışında malzemede oluşan kabuğun mukavemetine,
- Kokil çıkışından sonra ekstra olarak kabuğun dıştan desteklenmesi şekline, bağlıdır (Dinçer, 1983).

Çelik yerine pirinç, düşey yarı sürekli döküm yerine de yatay sürekli döküm uygulandığında da yer çekimi ivmesi dışında tüm değişkenlerin aynı etkiyi yaratacakları ortadadır. Ergiyik pirinçten grafit kalıp vasıtasıyla soğutma suyuna akan ısı şiddetinin soğutma suyunun debisi ile yükselmesi beklenir. Yukarıdaki bağlantıda sürekli döküm çekme hızı grafit kalıp üzerinden soğutma suyuna geçen ısı akışı şiddetine bağlıdır. Bu bulguya bağıntıdaki

$(t_r - t_k)$ terimi denk gelmektedir. Artan soğutma suyu debisi ile suyun soğutma kapasitesi yükseleceğinden t_k sıcaklığının düşmesi ve $V_{\max}$ hızının yükselmesi beklenir.

Teorisi incelendiğinde sürekli döküm kristal büyütme yöntemini anımsatmaktadır. Kalıp çıkışında döküm yatay veya düşey olarak çekilir. Düşey çekilirse dökülen kütüğün (billetin) kuyudan çıkarılması için döküme ara verilir ve bu nedenle yonteme yarı sürekli döküm adı verilir. Sürekli döküm yöntemi ile ergiyik bakır alaşımlarının katılaştırılması yaklaşık otuz yıl önce başlamıştır. Sürekli döküm, hızla yaygınlaşan ve değişime uğrayan bir döküm teknolojisidir. Sıcak ekstrüzyon yöntemi ile basılacak takozlarda çapı büyük ve uzun takozlar tercih edilmektedir (Demirkır vd., 2009).

4.3 Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirincinin Katılaşma Davranışı

Bir alaşımın dökümü gündeme geldiğinde, döküm öncesi söz konusu alaşımın katılaşma davranışını incelemek gerekir. Bu ön bilgi bize döküm kusurlarının azaltılmasına ve döküm kalitesinin yükseltilmesine yönelik ergitme, ergiyik alaşımın ıslah edilmesi, uygun döküm yöntemi ile birlikte uygun döküm koşullarının seçilmesi, vb olanağını sağlar.

Bilindiği üzere saf elementlerin tek bir ergime ve dolayısı ile belirli bir katılaşma sıcaklıkları vardır. Örneğin, saf bakır ergime noktası olan $1084,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında tümüyle katı, üzerinde ise tümüyle ergiyik (sıvı) haldedir. Diğer yanda, bir alaşımın tek bir ergime sıcaklığı yoktur, bir katılaşma aralığı vardır. Katılaşma, söz konusu alaşımın sıvılaşma sıcaklığında başlar, döküm soğudukça katılaşma aralığında sıvı içerisindeki katı oranı artar ve katılaşma sıcaklığına inildiğinde döküm tümüyle katılaşmış olur. %60 Cu-%40 Zn pirinci denge diyagramı üzerinde irdelenirse (Şekil 2.11), sıvılaşma ve katılaşma sıcaklıklarının sırası ile $903\text{--}875\text{ }^{\circ}\text{C}$ dolayında bulunduklarını görülür. Dolayısı ile bu pirincin katılaşma aralığı aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$\Delta T = T_{\text{sıvılaşma}} - T_{\text{katılaşma}} \quad (2)$$

$$\Delta T = 903\text{ }^{\circ}\text{C} - 875\text{ }^{\circ}\text{C} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$$

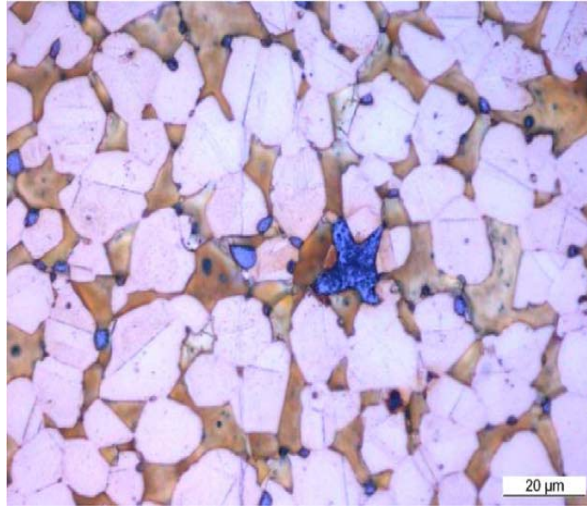
Katılaşma davranışları esas alındığında tüm döküm alaşımları üç gruba ayrılır:

- Geniş katılaşma aralıklı alaşımlar.
- Orta genişlikte katılaşma aralığı olan alaşımlar.
- Dar katılaşma aralıklı alaşımlar.

Bu üç grup arasında dar katılaşma aralıklı alaşımların dökümleri ve döküm kaliteleri nisbeten daha az sorunludur. Dolayısı ile döküm içerisindeki çekme boşlukları, dallantılar (dendritler) arası boşluklar, birikintiler (segregasyon), vb gibi sorunlar daha düşük seviyededir. Bunların önlenmesine yönelik tedbirler daha etkili olur. Yaklaşık 50 °C katılaşma aralığı ile %60 Cu–%40 Zn pirinci dar katılaşma aralıklı pirinçler grubu içerisinde yer almaktadır. Dolayısı ile döküm açısından bu bir avantaj olarak algılanabilir. Ek olarak, yüksek ısıl iletkenlikleri bakır alaşımlarının daha süratli soğuma ve katılaşmalarına katkıda bulunur (Demirkır vd., 2009).

4.4 Kurşun Katkılı %60 Cu - %40 Zn Pirincinde Segregasyon Beklentisi

Genel olarak, sürekli döküm ürününde boşluk, çekme, kirlenme, vb gibi döküm kusurlarının en alt düzeyde olmasına karşın segregasyon sorunu daha olasıdır. Birikinti veya ayrışma anlamına gelen segregasyon döküm alaşımında bulunan elementlerin katılaşma sırasında ayrışmaları ve döküm yapısında belirli bölgelerde yığılması ile ortaya çıkar. Bunlardan mikrosegregasyon kısa mesafeli olanıdır. Pirinç alaşımlarında dendritik (dallantılı) katılaşma sırasında çinko ve bakırın dökümde homojen dağılmamasından kaynaklanır. Şekil 2.11'deki denge diyagramı irdelendiğinde, yüksek ergime noktalı bakırın dallantı kolu merkezinde, daha düşük ergime noktası olan çinkonun ise dallantı kollarında birikmesi sonucu ortaya çıkacağı anlaşılır.



Şekil 4.9 CuZn39Pb3 pirincinde kurşun segregasyonu (Garcia vd., 2009).

Ekstrüzyon için üretilen %60 Cu–%40 Zn pirinçlerinde aynı zamanda %1,2–%3,5 aralığında kurşun (Pb) bulunmaktadır. Kurşunun yoğunluğu (1100 °C’de 10.04 g cm⁻³) pirinç alaşımının yoğunluğundan (saf Cu için 1100 °C’de 7.96 g cm⁻³) daha yüksektir. Monotektik reaksiyonu

sonucu oluşan sıvı kurşun kürecikleri ergiyik ve katı pirinç içerisinde çözünmemekte ve ancak döküm sıcaklığı kurşunun ergime sıcaklığına indiğinde (324 °C) katılaşmaktadır. Yoğunluğu ergiyik pirincin üzerinde olduğundan kurşunun yerçekimi etkisiyle döküm tabanına yakın bölgelerde çökmesi makrosegregasyon oluşturur. Bu nedenle yerçekimi segregasyonu da denilmektedir. Kurşunun karıştırılmayan ergiyik pirinç içerisindeki çökme hızı (V) kabaca aşağıdaki Stoke Yasası'ndan tahmin edilebilir:

$$V = \frac{2gr.r(\rho - \sigma)}{9\mu} \quad (3)$$

Yukarıdaki formülden;

V = çökme hızı, m.sn⁻¹

r = kurşun küreciklerinin yarıçapı, μ

ρ = kurşunun yoğunluğu, gr.cm⁻³

σ = sıvı pirincin yoğunluğu, gr.cm⁻³

μ = sıvı pirincin viskozitesi, mPa.sn

g = yerçekimi ivmesi, 9,80 m.sn⁻² olarak tanımlanabilir.

Daha küçük ölçekli olmasına karşın Ludwig–Soret Etkisi sonucu da makrosegregasyon olabilir. Bu durumda, ergiyik metal belirli bir sıcaklık gradyanı altında ise kürecikler sıcaklık gradyanı boyunca göç ederek belirli bir bölgede toplanabilirler. Kurşun dışında ergimiş pirinç içerisinde bulunan metal oksitler ile alaşım elementlerinin oksitleri gibi metal dışı partiküllerin yoğunlukları ergiyik pirinçten daha düşüktür. Bu nedenle, çoğunlukla yüzeye yükselerek ergiyik üzerine kapatan örtüye karışırlar.

Malzemenin anizotrop özelliklerde olmasına yol açan mikro ve makrosegregasyonların düzeltilmesi mümkündür. Makrosegregasyona karşı önlemler çoğunlukla katılaşma sırasında alınabilir. Örneğin, ergiyik pirinç katılaşırken karıştırılır ve bu sırada yerçekimine ters yönde bir konveksiyon akımı yaratılırsa pirinç dökümde kurşun dağılımı daha homojen bir duruma getirilebilir. Diğer yanda, mikrosegregasyon katılaşma sonrası takoza homojenizasyon veya tavlama ısıl işleminin uygulanması ile giderilebilir. Söz konusu ısıl işlem alaşımın katılaşma sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta gerçekleştirilir ve süresi tane büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin, pirinçte bakır, bakırca fakir bölgelere yayılır. Çinko atomları da çinkoca fakir bölgelere yayılır. Isıl işlem tamamlandığında bakır ve çinko dağılımı homojen bir duruma geleceğinden malzeme de izotrop özelliklere kavuşur. Sonuçta, sertlik gibi malzeme özellikleri daha homojen bir dağılım gösterir. Isıl işlemin süresi doğrudan difüzyon mesafelerine bağlı olduğundan ince taneli yapı daha kısa sürede homojenleşir. Kaba taneler veya iri dallantılı yapıların tavlama süresini birkaç güne çıkardığı bilinmektedir (Demirkır vd., 2009).

4.5 Kurşun Katkılı %60 Cu–%40 Zn Pirincinin Ergitilmesi

4.5.1 Pirinç Takoz Üretimini Etkileyen Ergitme Parametreleri

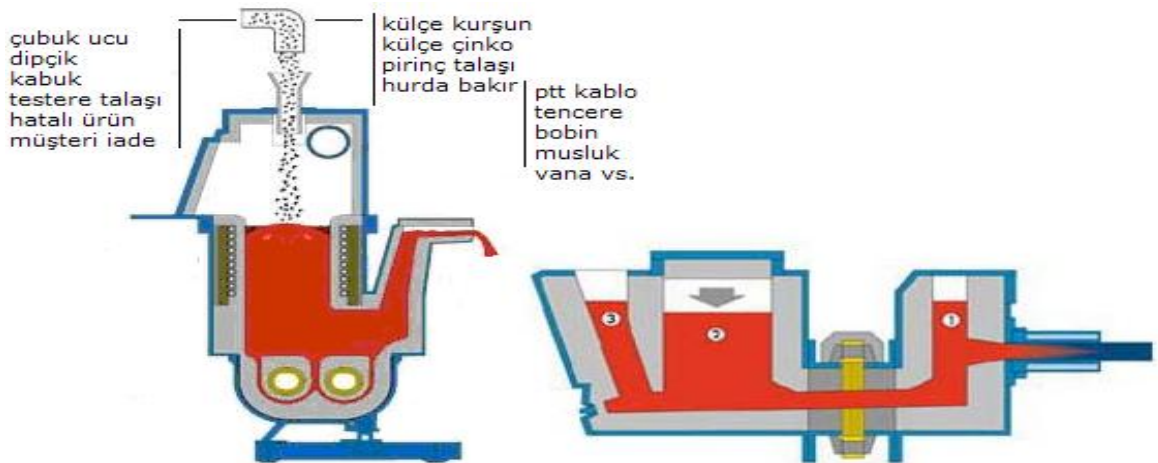
Ekstrüzyon imalatçısı, ekstrüzyon kalıpları için dar bir alaşım aralığında çalışmayı, profil çekerken maksimum hızda çalışmayı ve proses sırasında minimum oranda fire vermeyi ya da hiç fire vermemeyi amaçlar. Ayrıca ekstrüzyon imalatçısı ürün gamının çeşitliliğine göre pek çok çeşit alaşımla çalışmak zorundadır. Ve çoğu zaman takozların alaşım kalitesinin yetersiz olmasından dolayı ekstrüzyon prosesi sınırlanır. Ancak pirinç takoz döküm üreticisi de geniş bir alaşım oranı aralıklarında çalışmak ister. Çünkü bu sayede pek çok müşteriye hitap edebilecek ve üretim maliyetlerini düşürmüş olacaktır. Çünkü geniş bir alaşım aralığında çalışıyor olmak demek, o aralıkta pek çok müşteriye hitap etmek demektir. Döküm sıcaklığının kontrolü ve metalin kimyasal yapısı iyi kalitede bir pirinç döküm takozu üretebilmek için anahtar rol oynarlar. Döküm sıcaklığının nasıl iyi ve uygun bir şekilde kontrol edilebileceği, fırının sıcaklığının nasıl sabit tutulup nasıl kontrol edilebileceği, flaks ile metalin temizliği, flaks uygulandıktan sonraki reaksiyon süresi, dökümün başlangıcında ve döküm esnasında sıcaklık değişimlerinin ne gibi etkenlere sebep olacağını bilmek çok önemlidir. Döküm ekipmanının dizaynı, üretimi, kullanılması, gerekli zamanlarda bakımı, döküm otomasyonunun uygun şekilde yapılması ve işletilmesi, gerektiği zamanlarda gereken değişikliklerin yapılması pirinç takozun hem içyapısına hem de dış görünüşüne etki edebilecek olan işlemlerdir. Her işletmenin kendine has bulunduğu bölgenin coğrafi şartlarına göre, ham madde durumuna göre, fiziksel imkanlarına göre, ekipman ve personel potansiyeline göre başlı başına üretim koşulları vardır. Bu koşulların ışığında döküm prosesinin parametreleri optimize edilmelidir. Böylelikle takoz üretim maliyetleri düşürülebilir.

Alaşımın kimyasal analizinin doğru seçilmesi, alaşım elementlerinin oranı yani kimyasal yapısı da döküm prosesinin akışını ve takozun kalitesini etkiler. Metal kalitesi ile ilişkili olarak hammadde, fırının uygun tasarımı ve belirli zamanlarda bakımının yapılması, fırındaki sıvı metalin alaşımlanması ve flakslanması işlemlerinin tamamı alaşımın kimyasal yapısını etkileyecektir. Hem ekstrüzyon imalatçısı hem de takoz üretimi yapan üretici için alaşımın kimyasal yapısı çok önemlidir. Takoz üretimi için metal hazırlanırken alaşımın limit sınırları içinde kalınması gereklidir. Çünkü her alaşımın kendisine has özellikleri vardır. Alaşım

elementlerinde ya da oranlarında yapılacak olan değişiklikler alaşımların üretimini kolaylaştıracak ya da zorlaştıracaktır. Ayrıca alaşım elementlerinde yapılacak olan değişiklikler, takozun çatlak duyarlılığını arttırabilir, döküm sırasında takozun kalıba yapışmasına neden olarak yüzey hataları oluşturabilir.

4.5.2 Ergitme Pratiği

Ergitme işlemi esnasında ideal olan şarjın bir seferde fırına yüklenmesidir. İstenen bileşimi tutturmak için ön alaşım yapılmış ingotlar kullanılabilir. Belli bir ağırlıkta ergitme için yapılacak giriş şarjının malzeme ağırlıkları istenen kompozisyon yüzdelere bağlı olarak hesaplanır. Bu hesaplamada ergitme kayıpları da göz önünde bulundurulmalıdır. Şarj kompozisyon yüzdelere bağlı olarak bir seferde fırına yüklenmeli ve kimyasal analiz kontrolü ile doğruluğu onaylanmalıdır. Ergitme yöntemi her döküm için aynı kompozisyon sonucunu vermelidir. Daha dengeli bir sıcaklıktaki ergiyiği elde edebilmek için yüklenecek şarj ön ısıtılmalıdır. Şarj kuru, temiz olmalı ve fırın da cüruf ve kirlerden temizlenmiş olmalıdır. Ergitme sırasında %100 hurda veya %100 ingot kullanımı tavsiye edilmez. Ergitme sırasında ortaya çıkan cüruf ikinci bir rafinasyona tabi tutularak tekrara ergitilmek suretiyle külçeye dönüştürülebilir. Cüruf ve hurdanın tekrar ergitilmesinde son derece dikkat edilmelidir. Bunların kullanımında ergiyikte kirlenmeler oluşabilir. Hurdalar tamamen alaşımı içermesine rağmen alaşıma giren elementler diğer elementlerin yüzde değerlerini değiştirebilir. Bakır 1083 °C’de ergirken, çinko 419 °C’de ergir ve 907 °C’de buharlaşır. Dolayısıyla pirinç alaşımlarının hazırlanmasında öncelikle bakır ergitilmekte, sonrasında ergimiş bakır bekletilmeden ocağa 200–300 °C’ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmuş çinko külçeleri atılmaktadır (Akgün, 2000).



Şekil 4.10 Ergitme ocağı şarj malzemeleri.

Çizelge 4.1 Ergitme ocağına şarj edilen külçe kurşun, külçe çinko ve pirinç talaşının analizi.

	% Cu	% Zn	% Pb	% Sn	% Fe	% Al	% Cd
KURŞUN	0,0139	0,0087	99,9	0,0073	<0,0010	0,0019	0,0047
ÇİNKO	0,0191	99,9	0,0079	<0,0050	<0,0050	<0,0040	0,0497
TALAŞ	59,55	37,57	2,12	0,263	0,273	0,0020	<0,0005

İyi bir ergitme için yapılan işlemin hızlı olması gerekmektedir. Ergitme işleminin hızlı olmasının amacı sadece maliyetleri azaltmak değil kirliliği ve ergitme kayıplarını da en düşük seviyede tutmaktır. Şarjın ağırlığı doğru olarak saptanmalı, yükleme boyunca ocağın sıcaklığı kontrol edilmeli, ergiyeğin üzerindeki atmosfer de kontrol altında tutulmalıdır. Eğer bu değişkenler kontrol edilirse, ergitme süresi ve buna bağlı olarak istenen sıcaklığa ulaşmak için gerekli enerji miktarı hep aynı düzeyde kalır. Çinko ve diğer uçan elementlerin kayıpları sabitlenmiş olur. Böylece kolaylıkla takviye edilebilirler (Akgün, 2000).

Ergitme kayıplarını oluşturan faktörler;

- Ergiyik yüzeyinin tahrip olması ve yüzeydeki koruyucu oksit veya cüruf örtüsünün bozulması,
- İstenen döküm sıcaklığına uzun sürelerde ulaşılması, yüksek döküm sıcaklığı, yüksek sıcaklıklarda ergiyeğin uzun süre bekletilmesi,
- Döküm esnasında geniş bir ergiyik yüzey alanının atmosfere maruz kalması,
- Şarj edilen metalin yüzey/ağırlık oranının fazla olması,
- Uygun döküm tozunun kullanılmaması,
- Uygun olmayan ergitme zamanı,
- İngot ve külçelerin yerine büyük yüzey alanı veren malzemelerin şarj olarak yüklenmesi olarak açıklanabilir.

Genel döküm bilgisinden de bilindiği üzere bakır alaşımlarının dökümünde de metali aşırı ısıtmak ve yüksek sıcaklıklarda ergiyeğin uzun süre bekletilmesi bazı zorunlu karşılaşılabilecek olayları doğurur, bunlar;

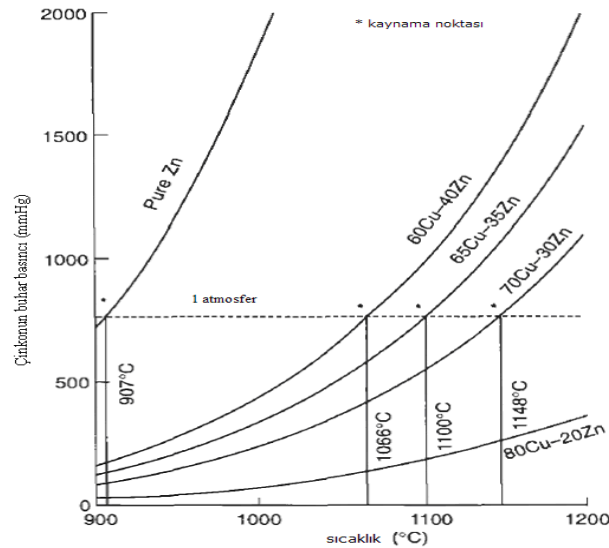
- Sıvı metalin sıcaklığı diğer bazı reaksiyonlar gerçekleşinceye kadar artar ve ısı ilavesine devam edilecek olursa bir müddet sonra banyodaki bazı maddelerin buhar basınçları artar ve bu metal buharları ortamdan uzaklaşır.

- Sıvı metal daha akışkan hale gelebilir.
- Sıvı metal, alaşım içerisindeki bazı elementlerin oksijen tedarik etmesiyle oksitlenebilir.
- Gazların erime eğilimi artar.

İdeal döküm sıcaklığı, sağlam döküm verecek en düşük sıcaklıktır (Akgün, 2000).

Tüm ocaklarda ergiyik metalle temas halinde bulunan fırın atmosferi, ergiyiğe giren hidrojen ve oksijenin ana kaynağıdır. Bu atmosfer oksitleyici, redükleyici ya da nötr özelliktedir. Ergiyik atmosferi redükleyici olduğunda hidrojenin ergiyik içerisinde serbestçe çözünmesine izin verilir. Ergiyik atmosferi hava olduğunda, indüksiyon ergitmedeki gibi, atmosfer oksitleyicidir. Ocak atmosferi oksitleyici ise ergitme süresince ergiyik metal içerisine karışan oksit miktarı artacaktır. Bu şartlar altında ergiyik içerisinde çözünmüş hidrojen miktarı en alt düzeydedir. Bakırın ergitilmesi sırasında meydana gelebilecek gaz boşluklarından ve kırılmalık özelliğinden kaçınmak için bakırın hidrojen içeriğinin düşük olmasına dikkat edilmelidir. Yüksek ergime sıcaklığı ve ergiyiği bu sıcaklıklarda uzun süre tutmak hidrojen çözünürlüğünü artırır. Hidrojeni gidermek basit bir iş olmadığından bütün mesele hidrojen seviyesini sınırlı tutmaktan ibarettir. Çinko içeren alaşımlar oksitleyici atmosfer altında ergitilmelidir. Oksitleyici atmosferler buharlaşma ile oluşan çinko kaybını azaltırlar. Ancak her zaman bir çinko kaybı söz konusudur. Çinkonun en önemli kayıp olmasının nedeni, düşük buharlaşma sıcaklığı ve çinko buharının yüksek buhar basıncı göstermesidir. Bu yüzden arzu edilen çinko yüzdesine ulaşmak için katılması gerekli çinko miktarından %1,5-%2 oranında fazladan çinko ocak şarjına katılmalıdır. Çinkonun buharlaşması esnasında eğer sıvı banyoda hidrojen varsa çinko buharı onu da beraberinde ortamdan uzaklaştırır. Oksitleyici şartlar altında yapılan uzun süreli ergitmelerden kaçınılmalıdır. Aksi takdirde oksitlenmiş metal kayb olduğu gibi alaşım akışkanlığını kaybeder ve beraberinde dökülebilirliği zorlaştırır. Redükleyici atmosfer kullanımı ile yakıt maliyetleri azalmasına ve oksitlenmeden kaynaklanan metal kayıpları olmamasına rağmen bakır alaşımları oksitleyici şartlar altında ergitildiğinde, gaz giderme işlemi alaşım içerisinde mevcut çinkonun bir miktarının buharlaşması ile doğal olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ergiyikteki oksijen ve hidrojen çözünürlüğünü en aza indirmek için ergiyiğin atmosfer ile temasını kesmek amacıyla ergiyik yüzeyi mangal kömürü ile örtülür. Sadece indüksiyon ergitmede ergiyik üzerindeki kömür örtüsü, H ve O'den kaynaklanan kirliliği en aza indirir. Reverber fırınında toplam porozite umulanın en iyisi %1-%1,3 iken bu, yakın bir metalurjik kontrole, indüksiyon ergitmeyle %0,5-%0,8 arasında tutulabilir (ASM, Source Book on Copper and Copper Alloys, 1970).

Dikkat edilmesi gereken husus, ergitme işlemi sırasında çinko buharlaşmasının ve kaybının en aza indirilmesidir. Bunun için ergitme işlemi en kısa sürede tamamlanmalı ve ergiyik pirincin aşırı ısınması önlenmelidir. Bir diğer husus ise, ergiyik bakır alaşımlarının içerisinde oksijen ve hidrojen gazlarının kolay çözünmesidir. Katılaşma sırasında bu gazların oluşturduğu su buharı katılaşma sonrası döküm yapısında gaz boşluklarının oluşmasına neden olurlar. Ergiyik pirinçteki çinkonun buharlaşmasının ve oksitlenmesinin sakınılması, ısı kaybının azaltılması, ayrıca çevreden kirlenmesinin önlenmesi için ergiyik pirincin üzerinde nötr veya indirgeyici (oksijen içermeyen) bir örtü (flaks) bulundurulmalıdır (Brown, 1994). Alüminyum içeren alaşımları hariç bakır alaşımlarının ergitilmesinde her zaman flaks kullanılmaz. Bununla beraber küçük miktarda kirlilikler kaçınılmaksızın şarjın içerisinde bulunmaktadır. Bunların temizlenmesi amacıyla bir miktar flaks ilavesi yapılabilir. Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında ergime sıcaklığı arttıkça, alaşım ağırlığında artış ve cüruf ağırlıklarında azalma kaydedilir. Ms58 pirincinin ergitilmesinde optimal ergime sıcaklığı, en yüksek alaşım ağırlığının elde edildiği 1050–1100 °C'dir. Bu sıcaklık aralığında yapılan ergitmelerde, cüruf oluşturmalar içerisinde en uygun sonuç boraks ile alınır. Örneğin flaks olarak 100 kg'lık bir şarj için 3 kg susuz boraks ile 1 kg silika ilavesi yapılabilir. Flaks olarak kırık camlarla karışık kalsine-kuru-boraks da kullanılabilir. Kombine flakslarla yaratılmış cüruflarda kriyolit, sodyum florür gibi halojenür tuzları, boraks gibi bor tuzları bulunur. Bu tuzlar genellikle 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yüksek uçuculuğa sahip olduklarından, bu sıcaklığın üzerindeki ergitmelerde cüruf ağırlığında azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla cüruf viskozitesinin azalması da cürufa yapışan alaşım damlacıklarının geriye dönüşümünü kolaylaştırmakta ve bu da alaşım ağırlığının artışına yol açmaktadır (Akgün, 2000).



Şekil 4.11 Bazı pirinçlerde çinko buharlaşma sıcaklıkları ve basınçları (Yılmaz, 2008).

Sürekli döküm öncesi bekletme ocağında tutulmakta olan ergiyik pirince döküm sırasında ve döküm sonrası katılaşmış dökümde istenilen özelliklerin kazandırılmasına yönelik yapılan ıslah işlemleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Ergiyik pirincin flaks katkıları ile rafine edilmesi.

Bu aşamada kullanılan flakslar ergiyik pirince atmosferden gaz giriş – çıkışını engellemek, ergiyik pirinç içerisindeki arzu edilmeyen element ve kalıntıları ergiyikten örtüye (flaksa) taşımak, yüzeyden ısı kaybını azaltmak ve sürekli döküm sırasında lubrikasyon ve yüzey kalitesini iyileştirmek amacı ile kullanılırlar. Söz konusu flaks örtüler genelde nötr veya indirgeyici özelliktedirler.

2. Ergiyik pirinç içerisindeki çözünmüş gazların alınması.

3. Ergiyik pirinç içerisindeki çözünmüş oksijenin alınması.

Ergiyik pirinç içerisindeki çözünmüş gazların ve çözünmüş oksijenin alınması yöntemlerinden birisi ve hiç kalıntı bırakmayan vakum işlemidir. Ergiyik pirincin karıştırılmasında ve ısı dağılımının homojen duruma getirilmesinde vakum uygulaması çok etkili bir teknolojidir.

İdeal bir oksijen giderici aşağıdaki kriterleri sağlamak durumundadır:

- Ergiyik pirinç içerisinde çözünmüş oksijenin tamamı ile birleşerek, sıvı bir oksit curuf oluşturmaktadır.
- Oluşan sıvı oksit curuf ergiyik pirince karışmamalı ve yüzeye, flaks örtüye taşınmalıdır.
- Ergiyik pirinç içerisinde kalan oksijen giderici katkı, katılaşma sonrası pirinç dökümün mekanik ve fiziksel özelliklerine zarar vermemelidir.

Fosfor, bir oksijen gidericide aranan tüm bu kriterleri sağlar. Yaygın bir oksijen giderici olarak ve akıcılığı arttırmak için eklenir. Temiz ve yüksek kaliteli bir döküm için önemli rol oynar. Ancak, % 0.025 fosfor kalıntısı bakır alaşımların elektrik iletkenliğini düşürür ve gevrekliğini artırır. Diğer oksijen gidericiler olarak magnezyum, kalsiyum, mangan, silis ve bor seçenekleri de vardır. Magnezyum çok etkilidir ve sülfürün zararlı etkilerini ortadan kaldırır. Ama oluşan oksitleri metalde tane sınırlarında kalmaya eğilimlidir ve kırılabilirliğe neden olur. Mangan mükemmel bir oksijen gidericidir. Kalsiyum metalin akışkanlığını hafifçe düşürmesine rağmen iyi bir oksijen gidericidir. Boron tane inceltme etkisi de bulunan iyi bir oksijen gidericidir ama aşırı kırılabilirliğe neden olur .

4. Ergiyik pirincin alaşımlandırılması / istenmeyen empüritelere arındırılması.

5. Ergiyik pirince tane inceltici katkıların yapılması.
6. Ergiyik pirincin döküm kalıbına akarken süzülmesi (Brown, 1994).

4.5.3 Bazı Elementlerin Pirincin Döküm ve Malzeme Özelliklerine Etkileri

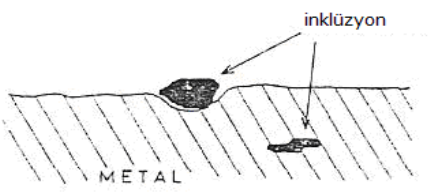
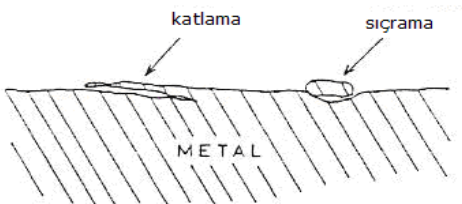
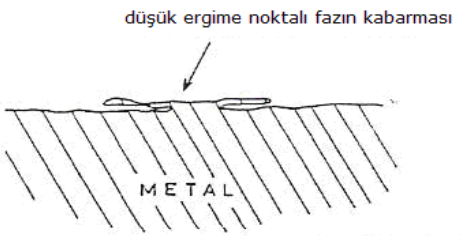
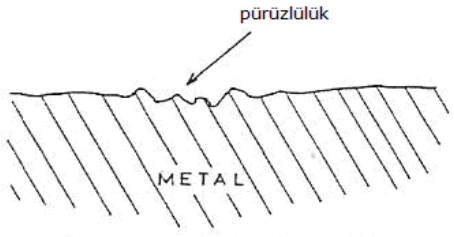
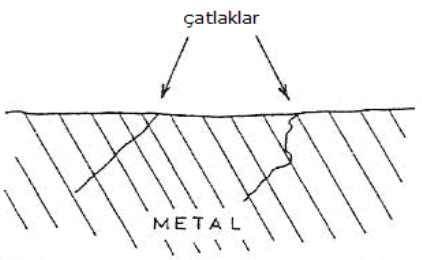
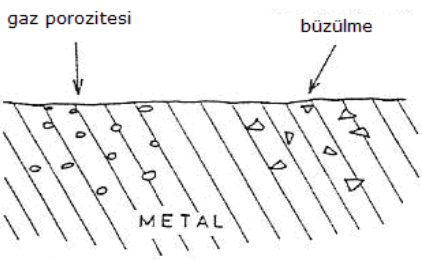
Alüminyum (Al), ergiyik pirincin akışkanlığını yükseltir. Bu yönden yararlıdır. Ancak, çok çabuk oksitlenir. Katılaşmakta olan pirinç takozun yüzeyinde oluşan alüminyum oksit tabakası (Al_2O_3) ile iç bölgelerde oluşan alüminyum oksit kalıntıları boşluk oluşumunu artırır, döküm kalitesini düşürür. Kalın yüzey oksitleri yüzey çatlaklarını derinleştirir. Silisyum (Si), döküm işlemini güçleştirir. Döküm sonrası pirincin korozyon direncini yükseltir. Demir (Fe), küçük miktarları eklendiğinde, tane inceltici etkisi vardır. Bu nedenle pirincin sertliğini ve çekme mukavemetini yükseltir. Mangan (Mn), pirinç alaşımında demir katkısına benzer etkilerde bulunur. Kalay (Sn), ergiyik pirincin akışkanlığını yükseltir. Pirinç alaşımın korozyon direncini, çekme mukavemetini ve sertliğini artırır; sünekliğini düşürür. Fosfor (P), demir ile birleşir. Akışkanlığı ve sertliği yükseltir.

Anlaşılabileceği üzere, döküm işleminin kolaylaştırılması ve döküm (takozun) kalitesinin yükseltilmesi gündeme geldiğinde alüminyum ve silisyumun ergiyik pirinçten alınması gerekebilir (Brown, 1994).

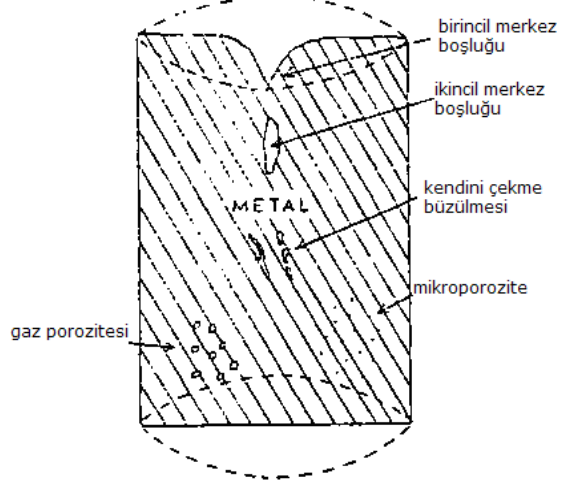
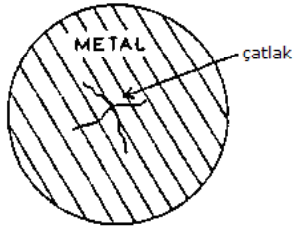
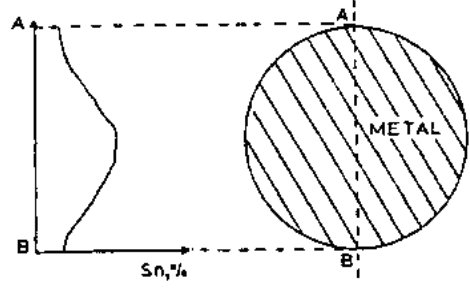
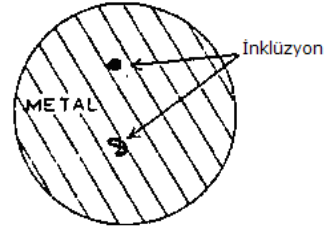
4.6 Kurşun Katkılı %60 Cu–%40 Zn Pirinç Takozlarda Oluşan Hata Tipleri

Çok iyi bilinir ki hangi üretim tarzı ile ne üretilirse üretilsin, üretimin her aşamasında görsel olarak tespit edilebilen kusurlar yüzünden ayrılan, reddedilen parça adedi, kalite kontrol standartlarının da etkinliğini arttırarak, bugün endüstride geniş çaplı bir ilginin odağı olmuştur. Pirinç takozların yatay sürekli dökümüyle üretiminin takip eden aşamalarında üretimin sağlamlığını garanti altına almak ve takozların görülebilir kusurlar yüzünden yüzey şartlarını geliştirme metotlarında; kaliteyi etkileyen metalurjik faktörleri, değişimleri ve nedenlerini sorgulayıp açıklayarak sürekli bir döküm kalitesini temin etmek için döküm prosesini daha yakından kontrol altında tutmak, hatalı malzemenin bir sonraki proses adımlarına geçişini engelleyebilmek veya en aza indirebilmek, tüm üreticilerin azami özen gösterdiği çok önemli bir yaklaşımdır. Döküm pirinç takozlarda oluşan yaygın olarak görülen yüzey ve yüzey altı kusurları, doğası, muhtemel oluşum yerleri ve sıklıkları şekil 4.12 ve şekil 4.13’de basit ama oldukça bilgilendirici çizimlerle açıklanmıştır. Pirinç takozların

içyapısında; takoz ince kabuk kalınlığında, küçük üniform tanelere, küçük dentrit kollarına ve dentrit kol boşluklarına sahip olmalı, mikro yapıda çatlak, inklüzyon, önceden katılaşmış bölge olmamalı ve takoz iyi şekilde homojenize edilmiş olmalıdır. Takozun dışında ise pürüzsüz bir yüzey, oksit tabakası olmayan, yüzeyinde kat izi olmayan, yatay çizgiler ve yırtılmanın olmadığı, çatlakların olmadığı bir yapıya sahip olmalıdır. Segregasyon bir kusur olarak görülmesine rağmen, döküm kesiti boyunca kompozisyondaki değişkenlik genelde kaçınılmazdır ve alaşımlarda bu, dökümün normal bir özelliğidir. Düşük ergime noktalı fazın, yüzey hatası olarak değerlendirilen yüzey kabarcıkları aslında kompozisyonun bölgesel yüzey altı değişkenliklerinin istenmeyen belirtisidir. Yüzey ve yüzey altı kusurlarının çoğu yüzeyin altında 1 cm daha aşağıya uzayabilirler. Yüzey çatlakları daha derinlere ulaşabilir. Pirinç takozların yüzeylerinde oluşan çatlaklar döküm hızının doğru tercih edilmemesi yüzünden meydana gelir. Döküm prosesinin diğer parametrelerine göre uygun döküm hızı tercih edilmez ise takozlarda hep çatlaklar var olacak oluşan bu çatlaklar aynı ekstrüzyon prosesi sırasında hatalara neden olacaktır. Pek çok yüzey altı kusurları aslında yüzey kalitesinin görünen kusurlarının bozulmasıyla ilişkili görülür. Daha önemlisi iç kusurlar genellikle merkezidir. Inklüzyonlar, mikroporozite nedeniyle daha küçük boşluklar kesit içerisinde herhangi bir pozisyonda oluşabilir. Bu kusurların oluşum sıklığı oldukça küçük olduğu görülmektedir. Ekstrüzyon üreticileri takozda inklüzyonun varlığını istemezler. Çünkü takozun yapısındaki inklüzyonlar ve oksit film tabakası, ekstrüzyon yapılmış üründe yüzey hatalarını arttıracak, ekstrüzyon prosesinin hızını düşürecektir. Bu yüzden kalıp daha fazla aşınacak ve dolayısı ile de kalıbın ömrü azalacak, kalıbın bakım ve işletme maliyetleri artmış olacaktır. Takozun yapısında az miktarda inklüzyon olması ya da oksit film tabakasının az olması direkt olarak metal kalitesi ile ilgilidir ama aynı zamanda döküm teknolojisini de değiştirmek gerekebilir. Döküm şartlarına uygun ekstrüzyon takozu kullanmak için oldukça yaygın endüstriyel uygulama, ekstrüzyon boyunca yaklaşık 3 mm kalınlıkta bir kabuğu takozdan ayırmaktır. Takoz yüzeyindeki bir kusurun kabuğun derinlerine uzanıp uzanmadığını değerlendirmek için bir yüzey ve yüzey altı incelemesi son derece gereklidir (Reynolds ve Levene, 1970). Bir yatay sürekli pirinç takoz döküm tesisinde, üretim süreci içerisinde, üretim aşamalarına bağlı olarak ortaya çıkabilecek malzeme kusurları ve bunların düzeltilmesine yönelik çalışmalar şekil 4.14’de şematik olarak özetlenmektedir. Katılaşma sırasında oluşan malzeme yapısı büyük ölçüde mekanik ve diğer malzeme özelliklerini belirler. Katılaşma sürecinin kontrolü bir zorunluluktur. Sürekli döküm ürünü takozun kalitesi ardından gelen tüm üretim yöntemlerindeki malzeme davranış ve kusurlarını etkilemektedir. Sürekli döküm ürününün kalitesi de pek çok etmene bağlıdır (Demirkır vd., 2009).

KUSURLAR	ÖRNEK
İNKLÜZYON karbon, kemik külü, çinko oksit	
SOĞUK DÖKÜM	
YEREL SEGREGASYON terleme, kabarma, yüzey kabarmaları	
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ boylamasına ve enlemesine girintiler, yivler	
YÜZEY ÇATLAKLARI enlemesine, boylamasına sıcak yırtılma gerilme çatlağı	
BOŞLUKLAR büzülme porozitesi, büzülme boşlukları, gaz porozitesi, uçucu kalıp boyalarından gelen boşluklar, mikroporozite, gaz boşlukları	

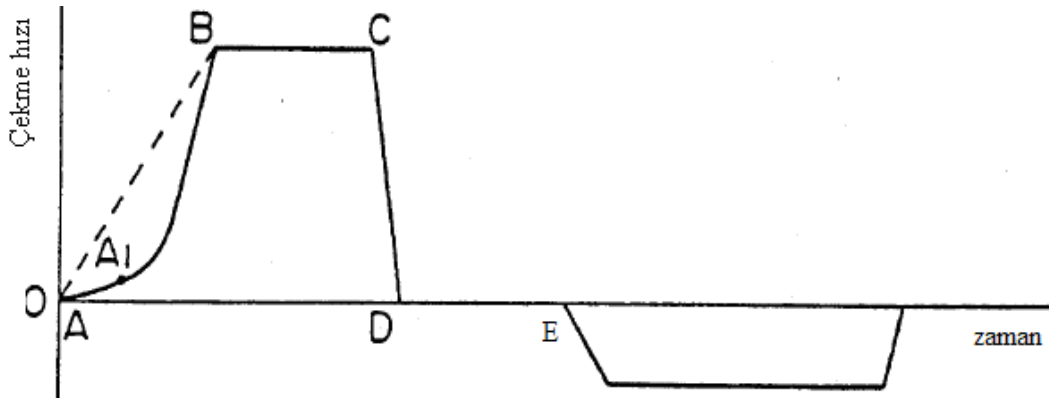
Şekil 4.12 Pirinç takozda iç kusurlar (Reynolds ve Levene, 1970).

KUSURLAR	ÖRNEK
BOŞLUKLAR Birincil, ikincil merkez boşluğu, kendini çekme boşluğu, gaz porozitesi, mikroporozite vs.	
ÇATLAKLAR	
SEGREGASYON	
İNKLÜZYON	

Şekil 4.13 Pirinç takozda yüzey ve yüzey altı kusurları (Reynolds ve Levene, 1970).

Örnek olarak seçilmiş aşağıdaki iki patent çalışmasına baktığımızda, bunların ve benzerlerinin, ekstrüzyon ve sonrasında karşımıza çıkabilecek ve bozulmuş yüzey kalitesine neden olacak bazı takoz kusurlarının önüne geçebilmek için başarıyla kullanılabilir tasarımlar olduğu düşünülebilir.

Geleneksel bir yatay sürekli döküm prosesinde bir çekme hareketi şu şekilde meydana gelir. Döküm takozu A noktasından B noktasına hemen hemen lineer artan bir hız ile, sonra, B noktasından C noktasına sabit bir hızla ve ardından C noktasından D noktasına hızı azaltılarak çekilir. D noktasından E noktasına kadar çekme hareketi durdurulur ve bir sonraki hareket döküm takozunun ters yönde itilmesidir. Böyle bir geleneksel çekme hareketi prosesi boyunca bazı problemler oluşur. Çekme süresince başlangıçta hızı artırma adımında -ki hız çok yüksektir- kalıbın içerisine dış ortamın havası girer. Bu döküm takozunun yüzey altı katmanında kabarcıklara neden olur. Bu kabarcıkların sayısı arttığında haddelme işlemi sırasında ürünlerin yüzeyinde hatalar olarak görünür ve böylelikle yüzey kalitesi bozulur. Geliştirilmiş bu yöntemde çekme adımında hız, hızın belirlenmiş bir değeri ile kontrol edilir ve çekme hızı başlangıç adımı değeri çok küçük tutulur. Böylelikle dış ortam havasının kalıbın içerisine girmesi engellenerek döküm takozunun yüzey altı katmanında oluşmuş kabarcıkların sayısının önemli ölçüde azaltılması mümkündür. Bu yöntemde görüldüğü üzere çekme hareketi, geleneksel yönteminkiyle aynıdır. Sadece A başlangıç noktasındaki hızda farklılık vardır (Tsuru vd., 1994).



Şekil 4.15 Takozun yüzey altı katmanında kabarcık oluşumunu azaltması tasarlanan çekme hareketi süreci (Tsuru vd., 1994).

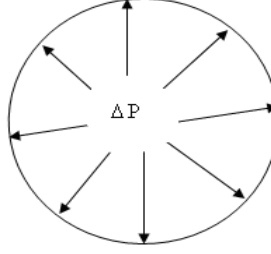
Döküm prosesini etkileyen çok sayıda parametre pek çok farklı dizayna sahip kalıpların gelişmesine neden olmuştur. Genellikle döküm ergiyiği kalıpta su ile soğutulur ve kalıbın çıkışında gerilimleri taşıyabilecek yeterince güçlü bir takoz kabuğu katılaştırmak son derece

önemlidir. Kalıp ve takoz arasındaki sürtünme yeni biçimlenmiş yüzeyin hasara uğramasına neden olur. Katılaşma büzülmesinin bir sonucu olarak kalıp ve takoz arasındaki hava boşluğunun oluşumuyla takoz kabuğunun yeniden ısınması bir başka dezavantajdır. Bu iki olay yüzey çatlakları, segregasyon, tane boyutu değişimleri gibi kusurların oluşumuna neden olur. Soğutucu olarak su kullanıldığında bu, soğutulmuş yüzeyde, yüzey sıcaklığı ve soğutma suyu kapasitesine bağlı olarak, daha az veya daha fazla stabil bir buhar filminin oluşumunu teşvik eder. Takoz yüzey pürüzlülüğü, su soğutma kapasitesi, su hızı ve su sıcaklığı önemli parametrelerdir ve sıcak yırtılmayı, yüzey çatlağı gelişimini ve muhtemel döküm hızını etkilerler. Döküm prosesi boyunca bu parametrelerin değişimiyle ürünün kalitesi değişebilir. Soğutucu ortam olarak; organik katyonlar ve çoğunlukla ergime noktası 100 C'nin altında olan inorganik anyonlardan oluşan iyonik sıvıları veya dökülen metalin ergime noktasının altında ergime sıcaklığı olan kurşun, kalay, bizmut ve alaşımları gibi sıvılaşmış metali kullanmak su ile soğutmaya nazaran oldukça sabit bir soğutma davranışını temin eder, yeni biçimlenmiş takoz yüzeyinin oksidasyonunu ve soğutucu olarak tamamen su kullanıldığında olabilecek patlama tehlikelerini engeller. Kalıpta düşük ısı çıkarımı pek çok yüzey kusurlarının oluşumuna engel olarak düzgün bir yüzey sunar ve geleneksel sürekli döküm prosesinde genellikle görülen istenmeyen yüzey altı katmanının oluşumunu engeller. Soğutucu sıcaklığı ve soğutucu akış hızı ayarlanarak soğutma hızının kontrolü sağlanabilir ve böylelikle takozun tane yapısı kontrol edilebilir. Soğutucu olarak sıvı metal veya alaşımının seçimi ile ve aynı zamanda farklı soğutma adımlarında soğutucu sıcaklığını kontrol ederek ve ayarlayarak sıcak ve soğuk yırtılmalar önlenabilir (Sommerhofer ve Sommerhofer, 2007).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ÖNCESİ BAZI MATEMATİKSEL HESAPLAMALAR

5.1 Mikroporozite Oluşmasında Dahili Basınç Hesaplamaları

Ergiyiğindeki bir katının homojen çekirdeklenmesi için benzer yolla bir dökümün katılaşması boyunca bir mikroporozitenin homojen çekirdeklenmesini modellemek mümkündür. Bu şu demektir; bir büyüyecek olan kritik boşluk yarıçapı var ve bu, boşluk ve çevreleyen ergiyik ve gas / ergiyik ara yüzü arasındaki basınç farklılığına bağlıdır.



Şekil 5.1 AP dahili basıncı.

Yüzeyini geçen fazla bir basınca sahip olan boşluğun kritik yarıçapı için bir ifadeyi elde ettiğimizde; eğrinin radyüsüne sahip bir sıvı baloncukta ΔP 'nin dahili basıncı görülür. Sisteme bakıldığında;

δ , yüzey alanını azaltmaya eğimlidir.

$$\Delta P dV = \delta dA \quad (4)$$

$V = \frac{4}{3} \pi r^3$ türevini alındığında $\Rightarrow dV = 4 \pi r^2 dr$ elde edilir.

$A = 4 \pi r^2$ türevini alındığında $\Rightarrow dA = 8 \pi r dr$ elde edilir.

Bu değerler $\Delta P dV = \delta dA$ eşitliğinde yerine konduğunda

$$\Delta P(4 \pi r^2 dr) = \delta (8 \pi r dr) \text{ ve,}$$

$$\Delta P = \frac{2\delta}{r} \text{ elde edilir.}$$

r yerine kritik yarıçap r^* konduğunda elde edilen eşitlik şöyle olacaktır:

$$\Delta P = \frac{2\delta}{r^*} \quad (5)$$

Atmosferik basınçta bir alüminyum alaşım ergiğiğin yüzeyine yakın 0,4 µm ölçüsündeki köpüğü oluşturmak için ihtiyaç olunan dahili basıncı hesaplamak istediğimizde; (Ergiğiğin yüzey enerjisini 0,8 J.m⁻² olarak varsayınız.)

$\Delta P = P_{iç} - P_{dış}$ olarak kabul edilirse dahili basınç dış basınçtan çok daha fazladır.

$$\Delta P = P_{iç} - P_{dış} = \frac{2\delta}{r^*}$$

$d = 0,4 \times 10^{-6}$ m olduğundan

$r^* = 0,2 \times 10^{-6}$ m olur. Değerler denklemde yerine konulduğunda;

$$P_{iç} - 0,1 \times 10^6 \text{ Pa} = 2 (0,8 \text{ j.m}^{-2}) / 0,2 \times 10^{-6}$$

$$P_{iç} - 0,1 \times 10^6 \text{ Pa} = 8 \times 10^6$$

$$P_{iç} = 8,1 \times 10^6 = 8,1 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

Atmosferik basınçta bir bakır alaşım ergiğiğin yüzeyine yakın 0,4 µm ölçüsündeki köpüğü oluşturmak için ihtiyaç olunan dahili basıncı hesaplamak istediğimizde; (Ergiğiğin yüzey enerjisini 1,49 J.m⁻² olarak varsayınız.)

$\Delta P = P_{iç} - P_{dış}$ olarak kabul edilirse dahili basınç dış basınçtan çok daha fazladır.

$$\Delta P = P_{iç} - P_{dış} = \frac{2\delta}{r^*}$$

$d = 0,4 \times 10^{-6}$ m olduğundan

$r^* = 0,2 \times 10^{-6}$ m olur. Değerler denklemde yerine konulduğunda;

$$P_{iç} - 0,1 \times 10^6 \text{ Pa} = 2 \times (1,49 \text{ j.m}^{-2}) / 0,2 \times 10^{-6}$$

$$P_{iç} - 0,1 \times 10^6 \text{ Pa} = 14,9 \times 10^6$$

$$P_{iç} = 15 \times 10^6 = 15 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

5.1.2 Ergiyik Pirinç Alaşımı İçerisinde Kurşun Çökelme Hızı (V_{Pb}) Hesaplamaları

Monotektik reaksiyonu sonucu oluşan sıvı kurşun kürecikleri ergiyik ve katı pirinç içerisinde çözünmemekte ve ancak döküm sıcaklığı kurşunun ergime sıcaklığına indiğinde (324 °C) katılaşmaktadır. Yoğunluğu ergiyik pirincin üzerinde olduğundan kurşunun yerçekimi

etkisiyle döküm tabanına yakın bölgelerde çökmesi makrosegregasyon oluşturur. Bu nedenle yerçekimi segregasyonu da denilmektedir. Kurşunun karıştırılmayan ergiyik pirinç içerisindeki çökme hızı (V) kabaca aşağıdaki Stoke Yasası'ndan tahmin edilebilir:

$$V_{Pb} = \frac{2gr.r(\rho - \sigma)}{9\mu}$$

Yukarıdaki formülden;

$$V_{Pb} = \text{çökme hızı, m.sn}^{-1}$$

$$r = \text{kurşun küreciklerinin yarıçapı, } \mu$$

$$\rho = \text{kurşunun yoğunluğu, gr.cm}^{-3}$$

$$\sigma = \text{sıvı pirincin yoğunluğu, gr.cm}^{-3}$$

$$\mu = \text{sıvı pirincin viskozitesi, milipascal saniye, mPa.sn}$$

$$g = \text{yerçekimi ivmesi, 9,80 m.sn}^{-2} \quad \text{olarak tanımlanabilir.}$$

V, çökme hızını m.sn⁻¹ cinsinden bulabilmemiz için gerekli birim çevirmeleri aşağıda gösterilmiştir.

$$1 \mu \text{ -----} \rightarrow 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{gr.cm}^{-3} \text{ -----} \rightarrow 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \text{ olarak çevrilebilir.}$$

Ayrıca 1mPa.sn'i (milipascal saniye) Pa.sn'e çevirebilmemiz için yeterli bilgi ve gerekli çeviri aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$N_t \rightarrow \text{kg.m.sn}^{-2}$$

$$P_a \rightarrow N_t.m^{-2} = \frac{kgm}{sn sn} \frac{1}{mm}$$

$$1 \text{ mPa.sn -----} \rightarrow 0,001 \text{ Pa.sn --} \rightarrow 10^{-3} \frac{kgm}{sn sn} \frac{1}{mm} \text{ sn} = 10^{-3} \frac{kg}{msn}$$

Stoke Yasası'nda sözkonusu sıcaklıkta ergiyik metalin (pirinç) ve çökelen metalin (kurşun) yoğunluklarına gerek vardır. Bu yoğunluk doğrudan literatürden alınabileceği gibi; literatürde mevcut değilse aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir. Aşağıda ilk önce; pirinç için literatürden sıvı haldeki yoğunluğu bulunamadığından saf Cu için 1100 °C'deki yoğunluğu ve daha sonra ikinci olarak ise; kurşunun 1100 °C'deki yoğunluğu hesaplanmıştır. Ancak literatürden saf Cu'nun ve Pb'in 1100 °C'deki yoğunlukları sırasıyla 7,96 g.cm⁻³ ve 10,04 g.cm⁻³ olarak bulunduğu Stoke Yasası'nda çökme hızı, V'i hesaplarken esas değerler olarak alınıp; aşağıdaki yoğunluk hesaplamaları ise örnek teşkil etmesi amacıyla bırakılmıştır.

$$P(t) = P_m - k(t - t_m) \text{ 'dir.}$$

(6)

Eşitlikte;

P_m = Kurşunun ve pirincin sıvı haldeki yoğunlukları sırasıyla Pb: 10,66 g.cm⁻³, Saf Cu: 8,02 g.cm⁻³ (ergime noktası 1084,62 °C'de)
 k = Sabit, 0,00122 g.cm⁻³ (Pb için) ve sabit, 0,000609 g.cm⁻³ (Cu için)
 t = Yoğunluğunu bulmak istediğimiz sürekli döküm sıcaklığı, °C
 t_m = Ergime noktası, °C

a. Eşitliğin saf Cu'ın yoğunluğunu bulmak için kullanılışı şu şekildedir:

$$P_{Cu} = 8,02 - 0,000609 (1100 - 1084,62)$$

$$P_{Cu} = 8,02 - 0,00936642$$

$$P_{Cu} = 8,0106 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (1100 °C'de)}$$

$$P_{Cu} = 8,0106 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (1100 °C'de, hesaplamayla bulunan değer.)}$$

$$P_{Cu} = 7,96 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (1100 °C'de, literatürden alınan değer.)}$$

b. Eşitliğin Pb'ın yoğunluğunu bulmak için kullanılışı şu şekildedir:

Bu eşitliğin Pb'ın yoğunluğunu bulmak için uygulanasında literatürden gelen bilgi; eşitliğin, Pb'ın 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki yoğunluğunu bulmak için kullanılamayacağıdır. Dolayısıyla eşitlik yardımıyla Pb'ın 700 °C'deki yoğunluğu bulunmuş olup, literatürden ise 1100 °C'deki yoğunluğu alınmıştır.

$$P_{Pb} = 10,66 - 0,00122 (700 - 327,4)$$

$$P_{Pb} = 10,66 - 0,454572$$

$$P_{Pb} = 10,205 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (700 °C'de)}$$

$$P_{Pb} = 10,686 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (327,4 °C'de, literatürden alınan değer.)}$$

$$P_{Pb} = 10,205 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (700 °C'de, hesaplamayla bulunan değer.)}$$

$$P_{Pb} = 10,04 \text{ g.cm}^{-3} \text{ (1100 °C'de, literatürden alınan değer.)}$$

50 μ ve 100 μ yarıçaplı kurşun küreciklerinin karıştırılmayan ergiyik pirinç içerisindeki V çökme hızları, yukarıda eleman ve birimleri tanımlanan Stoke Yasası formülünde yerine konduğunda aşağıdaki sonuçlar gibi bulunacaktır.

a. $r_{Pb} = 50 \mu$ için kurşun çökme hızının tahmin edilmesi;

$$V_{rPb=50 \mu} = 2 \times 9,80 \text{ m.sn}^{-2} \times 50 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times (10,04 - 7,96 \text{ g.cm}^{-3}) \frac{1}{9 \times 3,36 \text{ mPasn}}$$

$$V_{rPb=50 \mu} = 2 \times 9,80 \text{ m.sn}^{-2} \times 25 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \times 2,08 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \frac{1}{9 \times 3,36} 10^3 \text{ kg.m}^{-1} \text{.sn}^{-1}$$

$$V_{rPb=50 \mu} = \frac{1019,2}{30,24} 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{sn}} \frac{\text{msn}}{\text{kg}}$$

$$V_{rPb=50 \mu} = 33,7 \times 10^{-4} \text{ m.sn}^{-1} = \mathbf{0,00337 \text{ m.sn}^{-1}}$$

b. $r_{Pb} = 100 \mu$ için kurşun çökelme hızının tahmin edilmesi;

$$V_{rPb=100 \mu} = 2 \times 9,80 \text{ m.sn}^{-2} \times 100 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times (10,04 - 7,96 \text{ gr.cm}^{-3}) \frac{1}{9 \times 3,36 \text{ mPasn}}$$

$$V_{rPb=100 \mu} = 2 \times 9,80 \text{ m.sn}^{-2} \times 104 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \times 2,08 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \frac{1}{9 \times 3,36} 10^3 \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{sn}^{-1}$$

$$V_{rPb=100 \mu} = \frac{40,76}{30,24} 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{sn sn}} \frac{\text{msn}}{\text{kg}}$$

$$V_{rPb=100 \mu} = 1,347 \times 10^{-2} \text{ m.sn}^{-1} = \mathbf{0,01347 \text{ m.sn}^{-1}}$$

Çökelme hızları bulunan 50μ ve 100μ yarıçaplı kurşun küreciklerinin Şekil 5.2’de de gösterildiği gibi ısıda tutma ocağında ergitme anında belirlenen mesafelerden çökelme süreleri için yararlanacağımız eşitlik, aşağıda elemanlarının tanımlamaları ve birimleriyle formüle edilmiştir.

Buna göre;

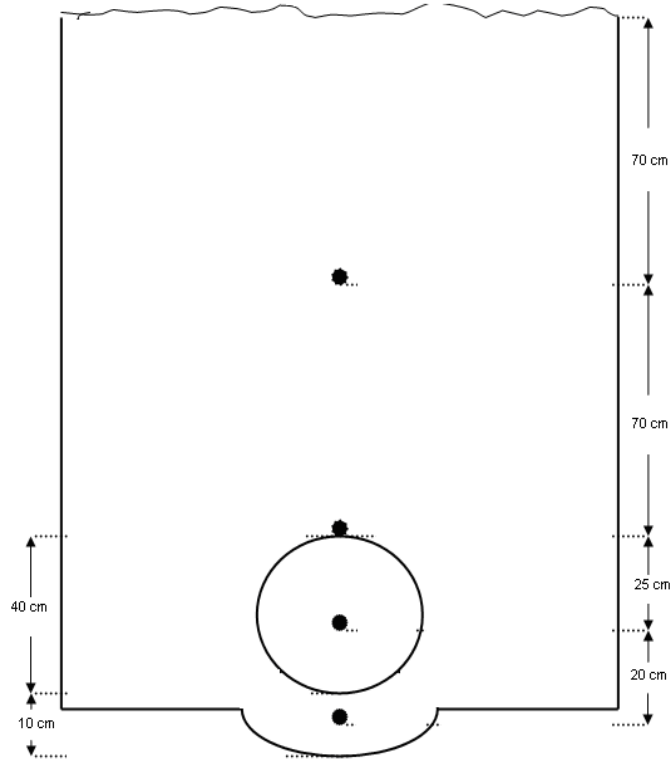
t = çökelme süresi, sn

h = yükseklik, m

V = çökelme hızı, m.sn^{-1}

$$t = \frac{h}{V} \text{ 'dir.}$$

(7)



Şekil 5.2 Isıda tutma ocağında kurşun küreciklerinin çökelme mesafeleri.

50 μ ve 100 μ yarıçaplı kurşun küreciklerinin 70 cm, 140 cm, 165 cm ve 185 cm'den çökme süreleri için geçen süreler;

$$t(V_{rPb=50\mu} \rightarrow 140 \text{ cm}) = \frac{1,4}{0,00337} \frac{m}{m/sn} = 415,4 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=50\mu} \rightarrow 165 \text{ cm}) = \frac{1,65}{0,00337} \frac{m}{m/sn} = 489,61 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=100\mu} \rightarrow 140 \text{ cm}) = \frac{1,4}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 103,93 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=100\mu} \rightarrow 165 \text{ cm}) = \frac{1,65}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 122,49 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=50\mu} \rightarrow 70 \text{ cm}) = \frac{0,7}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 207,7 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=50\mu} \rightarrow 185 \text{ cm}) = \frac{1,85}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 548,96 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=100\mu} \rightarrow 70 \text{ cm}) = \frac{0,7}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 51,96 \text{ sn}$$

$$t(V_{rPb=100\mu} \rightarrow 185 \text{ cm}) = \frac{1,85}{0,01347} \frac{m}{m/sn} = 137,34 \text{ sn} \quad \text{şeklinde bulunur.}$$

Bulunan değerleri bir tablo halinde görüntülediğimizde aşağıdaki tablo ortaya çıkar.

Çizelge 5.1 50 μ ve 100 μ yarıçaplı kurşun küreciklerinin ergiyik pirinç alaşımı içerisinde 70 cm, 140 cm, 165 cm ve 185 cm'den çökme süreleri için geçen süreler.

KURŞUNUN PARÇACIK BOYUTU, r ($\mu \cdot 10^{-6} = m$)	STOKE ÇÖKELME HIZI, V (m.sn ⁻¹)	70 cm'deki ÇÖKELME SÜRESİ, t (sn)	140 cm'deki ÇÖKELME SÜRESİ, t (sn)	165 cm'deki ÇÖKELME SÜRESİ, t (sn)	185 cm'deki ÇÖKELME SÜRESİ, t (sn)
50 $\times 10^{-6}$	0,00337	207,7	415,4	489,61	548,96
100 $\times 10^{-6}$	0,01347	51,96	103,93	122,49	137,34

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Deneyin Amacı

Artık çok iyi bilinmektedir ki müşterilerden üreticilere gelen talepler, sadece üretim maliyetlerinin düşürülmesi ile ilgili değil malzeme mekanik özellikleri ve döküm yapısının da geliştirilmesi yönünde yoğun çaba sarfedilmesi gerektiğini göstermektedir. Yatay sürekli döküm yöntemiyle üretilen pirinç takozların kalitesi ardından gelen tüm üretim yöntemlerindeki malzeme davranış ve kusurlarını etkilemektedir. Takoz kalitesi ise ergitme ve bekletme ocaklarındaki işlemler ile sürekli döküm aşamasının tümünden etkilenmektedir. Üretilirliği kolaylaştıran ve son üründe arzu edilen mekanik özellikleri sağlayan bir takoz döküm kalitesi için kurşunun küçük ve iyi dağılımıyla desteklenmiş yüksek ve izotop mekanik özellikler sağlayan ince, eşeksiz tane yapısı hedef olmalıdır. Bu yüzden katılaşma sürecinin kontrolü bir zorunluluktur ve sürekli döküm çalışmalarımız, döküm parametreleri ↔ döküm yapısı ↔ mekanik özellikler döngüsü çerçevesinde irdelenmiştir.

6.2 Deneyisel Çalışmaların Yürütülmesi

Sürekli döküm ünitesine ergiyik pirinç sağlayan tek çekirdekli ergitme ocağı 650 KW gücünde ve günde 60 ton kapasitelidir. Ergitme ocağından 12 ton kapasiteli bekletme ocağına alınan ergiyik pirinç gerekli ıslah işlemlerinden sonra su soğutmalı sürekli döküm kalıbına, grafitten imal edilmiş kokilin içerisine akıtılmaktadır. 230 mm çapında dökümler yaklaşık 87–110 mm.dak⁻¹ aralığındaki çekme hızlarında sürekli döküm kalıbından çekilmekte ve ikinci soğutma ünitesinden sonra hareketli testere ile 660 mm uzunluğunda kesilmektedir. Saatte 2,0–2,3 ton üretim yapılmaktadır. TS-EN 12164/2002 standartlarında tanımlanan CW 614N (CuZn39Pb3) pirincinin ve deney çalışmalarımızda kullanılmak üzere farklı soğutma kapasiteleri uygulanarak elde edilen CW 614N (CuZn39Pb3) pirinç takozlarının analizleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.1). Arzu edilen ve deney çalışmalarımızın amacını oluşturan takoz döküm yapısına ulaşabilmek, su soğutmalı grafit kalıbın içerisinde uygulanacak yüksek soğutma kapasiteleriyle mümkün olacaktır. Su soğutmalı sürekli döküm kalıbında su 6 bar

basınçla pompalanmış ve birinci takoz saatte 20 m^3 , ikinci takoz ise saatte 35 m^3 su ile soğutulmuştur. Soğutma sularının giriş ve çıkış sıcaklıkları Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.1 CW 614N (CuZn39Pb3) pirinci ile mevcut çalışmadaki sürekli dökümden elde edilen takozların kimyasal analizi.

Element	% Cu	% Al	% As	% Fe	% Mn	% Ni	% Pb	% Sn	% Zn	Diğer toplam
CW 614N	57.0 59.0	- 0.05	- -	- 0.3	- -	- 0.3	2.5 3.5	- 0.3	Kalan	- 0.2
1.Takoz analizi (Tek pompa- debisi $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	58.570	0.002	0.004	0.330	0.004	0.048	2.880	0.171	37.870	0.121
2.Takoz analizi (Çift pompa- debisi $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	58.290	0.002	0.004	0.320	0.005	0.042	2.790	0.165	38.270	0.112

Sürekli döküm çekme hızı gerçekte ilerleme-durma, gerileme-durma adımlarının bir bileşkesidir. Sürekli döküm çekme hızı Çizelge 6.2'de bir örneği verilen pano değerlerinden bir periyottaki ilerleme ve periyot zamanından hesaplanabilir.

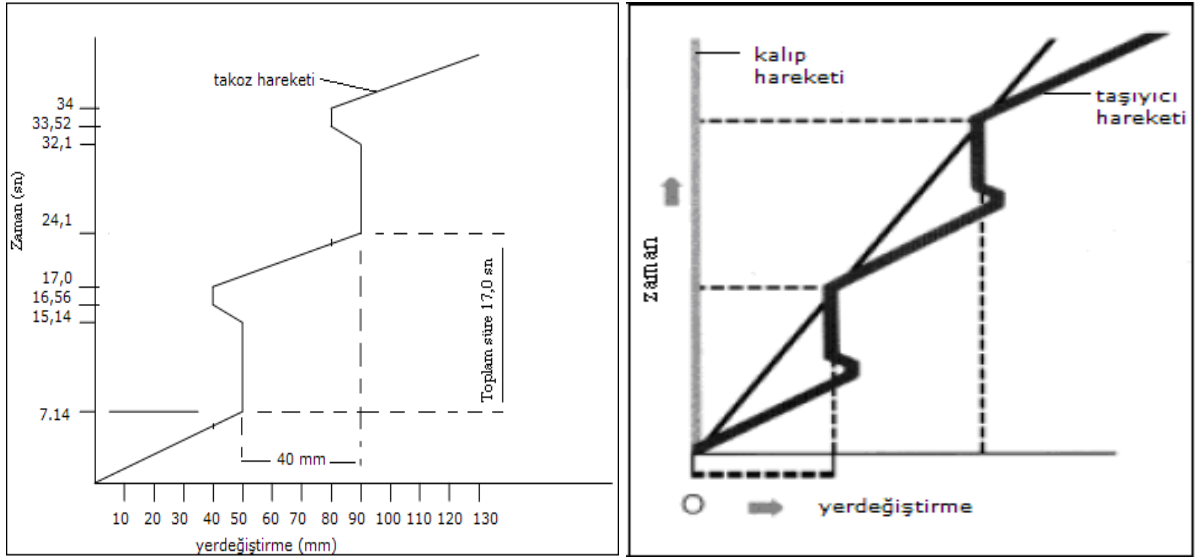
Çizelge 6.2 Sürekli döküm sırasında pano değerleri ve sürekli döküm çekme periyot hızı.

Pano Değerleri		Döküm Periyot İlerlemesi (mm)
İleri Hızı	7 mm sn^{-1}	40
Geri Hızı	7 mm sn^{-1}	
İlerleme Mesafesi	50 mm	Döküm Periyot Süresi (sn)
Geri Mesafesi	10 mm	
İleri Durma Süresi	8 sn	17
Geri Durma Süresi	0.5 sn	
Dökülen Kütük Boyu	660 mm	Döküm Periyot Hızı (mm.sn^{-1})
		2.35

Çizelge 6.2'de değerleri verilen yatay kesikli sürekli pirinç döküm hareketinin yerdeğiştirme-zaman diyagramı çizildiğinde bölüm 3.3'te literatürde (Brey, 2001) tanımlanan kesikli çekme hareketiyle benzeştiği görülmektedir (Şekil 6.1).

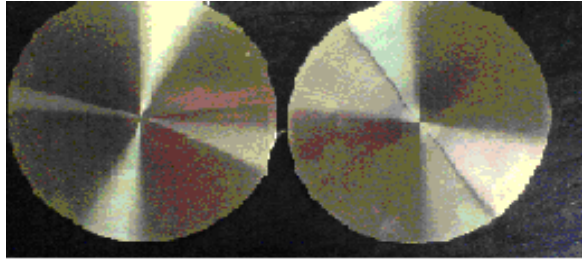
Çizelge 6.3 Sürekli döküm sırasında ergiyik metalin sıcaklığı ve soğutma suyunun değerleri.

Ergiyik metalin ergitme fırınındaki sıcaklığı	Ergiyik metalin tutma fırınındaki sıcaklığı	20 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ debide soğutma suyunun sıcaklıkları		35 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ debide soğutma suyunun sıcaklıkları	
		giriş	çıkış	giriş	çıkış
1150 °C	985 °C–1000 °C	21,6 °C	56,1 °C	18 °C	28 °C



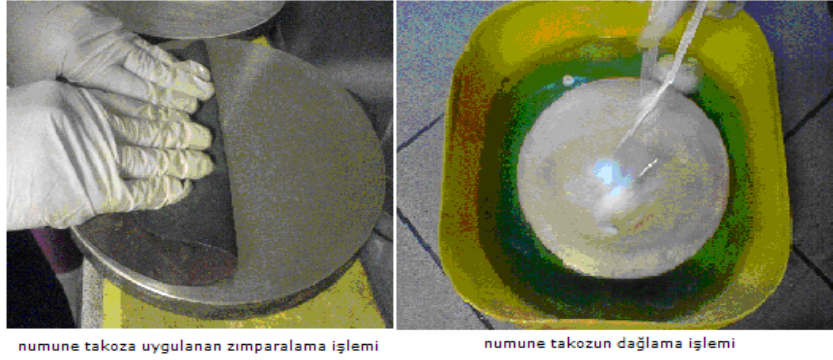
Şekil 6.1 Kesikli sürekli döküm hareketi bir döküm periyodu ilerlemesi ve süresinin literatür (Brey, 2001) ile kıyaslanması; solda deney takozlarının alındığı çekme hareketi, sağda literatürde tanımlanan çekme hareketi.

Farklı soğutma kapasiteleriyle soğutulan iki farklı takoz, hareketli testerede kesildikten sonra seri üretim takozlara karışmaması için kırmızı renk boya ile işaretlendi ve ayrı bir yere alındı. Sürekli döküm takoz ürünlerinde makroyapı ve tane yapısını belirlemek üzere takozlardan döküm çap yönünde 2 cm eninde numuneler kesildi. Bu takozların yüzeyleri tornada işlenerek parlatıldı.



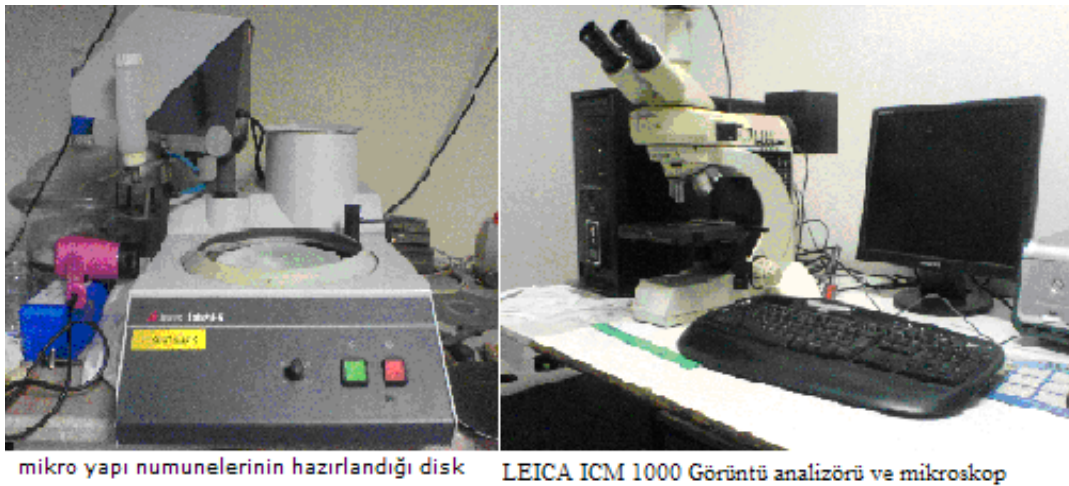
Şekil 6.2 Tornada yüzeyleri parlatılan numune takozlar (x5.8 küçültme).

Takozların yüzeyi, parlatıldıktan sonra, önce 600'lük SiC zımpara ile (daha önceki tecrübelerle dayanarak) tane yapısının dağlama işlemi sonrası daha rahat ortaya çıkmasını sağlamak için elle zımparalandı ve sonra %50 nitrik asit (HNO_3)-%50 damıtık su (H_2O) karışımında bütün olarak dağlandı.



Şekil 6.3 Numune takozlara uygulanan zımparalama ve dağlama işlemleri.

Dağlanan takozların makroyapıları görüldükten ve elde edilen bulgular değerlendirildikten sonra her iki numune takoz yüzeylerinde eşeksenli ve kolonsal tane bölgelerinden, döküm mikro yapıları incelenmek amacıyla birer adet toplamda dört adet mikroyapı numuneleri alındı. Soğuk kesme işlemiyle çıkartılan mikroyapı numunelerine, Struers LaboPol-5 marka zımparalama ve parlatma disk makinasında, sırayla 250 lik, 600 lik, 1000 lik, 1200 lük ve 2400 lik SiC zımparalama ve çuhada 3μ lik elmas pasta ile parlatma işlemleri uygulandı. Dağlama işlemi, 100 ml suda 10 gr Amonyumpersülfat $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$ çözeltisinde yapıldı. Yaklaşık 1 dak çözeltide bekletildi, kurutma makinesi ile kurutuldu ve Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi Metalürji Mühendisliği Bölümü'nde LEICA ICM 1000 marka görüntü analizörü ve mikroskobunda değerlendirildi.



Şekil 6.4 Mikroyapı numunelerinin hazırlandığı disk ve görüntülendiği ışık mikroskobu.

Tek pompa ile soğutulmuş takozun tane yapısı farklı bölgelerinden, mekanik özelliklerin tane yapısı ile değişimini görmek amacıyla ASTM E 8 Standard çekme deneyi numuneleri

alınmıştır. Alınan numuneler Shimadzu AG-250kNG marka çekme testi cihazında 20 mm.dak⁻¹ çekme hızıyla kopartılmıştır. Böylelikle, çekme testi sonuçlarının makro ve mikroyapı ile birlikte değerlendirilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 6.5 Çekme testi makinası.

Çekme testinde kırılan numunelerin yüzeyleri Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi Metalürji Mühendisliği Bölümü'nde taramalı elektron mikroskobu (JEOL JSM 5410 LV Scanning Microscope) altında değerlendirilmiştir.



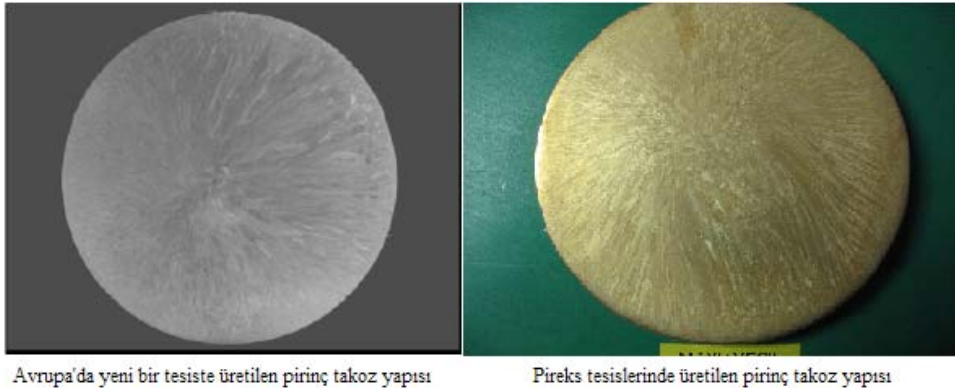
Şekil 6.6 Taramalı elektron mikroskobu (JEOL JSM 5410 LV Scanning Microscope).

6.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sürekli döküm takozlar makro ve mikro yapılar açılarından incelenmiş, literatür ile kıyaslanmış ve döküm parametreleri ile ilişkilendirilmiştir. Mekanik özelliklerin söz konusu döküm parametrelerinden ve ortaya çıkan malzeme yapısından nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Hedeflenen çekme özelliklerinin hangi tür takoz yapısına denk geldiği ve söz konusu takoz yapısının hangi sürekli döküm parametresinin hangi değerlerde tutulması ile ulaşılabileceği incelenmiştir.

6.3.1 Pirinç Takoz Makroyapısının Literatür ile Kıyaslanması

Seri üretimde-soğutma suyu kapasitesi arttırılmadan-üretilen pirinç takozumuzun makro yapısını, bölüm 3.1’de bahsedilen (Brey, 2001) Avrupa’da yeni işletmeye alınmış, modern bir sürekli döküm tesisinde üretilen bir pirinç takozun makroyapısıyla karşılaştırdığımızda aynı bulgulara ulaştığımızı görmekteyiz. Soğuk kalıp duvarına komşu bölgede ergiyik pirincin çok hızlı soğuyup hızla katılaşması sonucu çok küçük, eşeksenli tanelerden oluşan zar bölgesi her iki makroyapıyı çevrelemiştir. Zar bölgesinin ardından katılaşan kolonsal taneler dik bir sıcaklık gradyanı altında daha yavaş katılaştığından en-boy oranı yüksek oldukça kaba tanelerdir. Takozların merkez bölgelerinde ise zar bölgesinden daha iri olmakla birlikte eşeksenli taneler bulunmaktadır. Her iki makroyapıda da eşeksenli bölgelerin takoz merkezinden kaymış olmalarının nedeni asimetrik soğuma koşulları yüzündendir. Sürekli döküm sırasında soğutma, takoz alt ve üst yüzeylerini farklı etkin biçimde soğutmakta, yerçekimi etkisi ile katı-sıvı bölgede daha sıcak ergiyik yükselmektedir. Tam takoz merkezinde görülmesi beklenen eşeksenli bölgenin takozun alt (solda) ve üst (sağda) yüzeylerine yakın bir bölgeye kayması bu etkilerden kaynaklanmıştır.



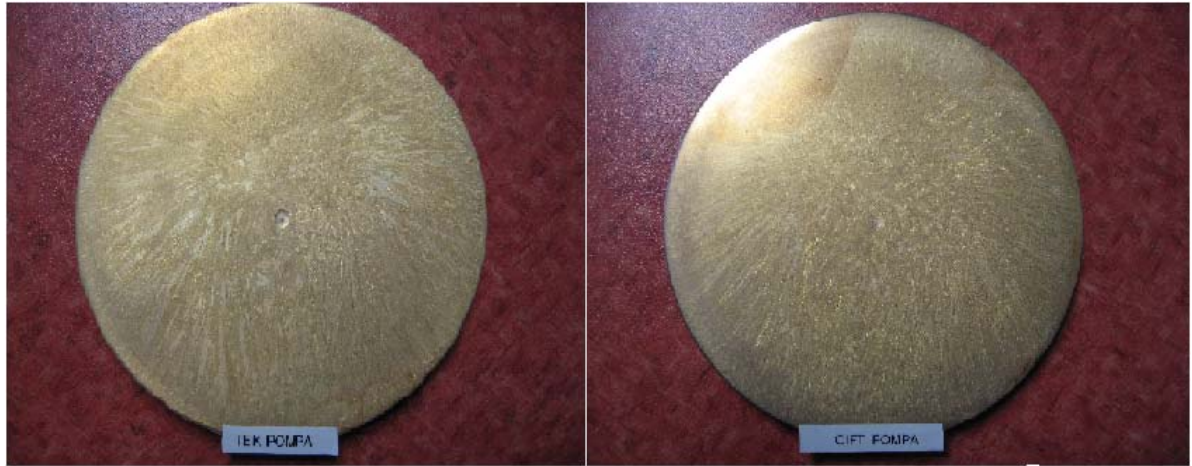
Avrupa’da yeni bir tesiste üretilen pirinç takoz yapısı

Pireks tesislerinde üretilen pirinç takoz yapısı

Şekil 6.7 Sürekli döküm ürünü pirinç takoz makroyapılarının kıyaslanması (x4,8 küçültme).

6.3.2 Farklı Soğutma Kapasitelerinde Alınan Takoz Makroyapılarının Karşılaştırılması

Bir maksimum sürekli döküm çekme hızının ($V_{\max.}$) bulunduğu ve bunun (1) no'lu bağıntıdan tahmin edilebileceği bölüm 4.2.6'da belirtilmiştir. Ergiyik pirinçten grafit kalıp vasıtasıyla soğutma suyuna akan ısı şiddetinin soğutma suyunun debisi ile yükselmesi beklenir. (1) no'lu bağlantıda değinilen sürekli döküm çekme hızı grafit kalıp üzerinden soğutma suyuna geçen ısı akışı şiddetine bağlıdır. Bu bulguya bağıntıdaki $(t_r - t_k)$ terimi denk gelmektedir. Artan soğutma suyu debisi ile suyun soğutma kapasitesi yükseleceğinden t_k sıcaklığının düşmesi ve $V_{\max.}$ hızının yükselmesi beklenir. Grafitten imal edilmiş sürekli döküm kalıbının tek pompa ile soğutulması durumunda katılaşan makroyapı Şekil 6.8 (a)'da görülmektedir. Takoz çeperine yakın dar bir bölgede oluşan çok ince taneli zar bölgesi ile takoz merkezindeki eşeksenli taneler mekanik özellikler açısından tercih edilen tane yapılarıdır. Zar bölgesi ile merkezdeki eşeksenli taneler arasında oluşan ve takoz kesitinin büyük bölümünü dolduran en-boy oranları yüksek, iri kolonsal taneler daha düşük ve anizotrop mekanik özellikler sergilediklerinden çoğunlukla tercih edilmezler. Genellikle, kolonsal tanelerin oluşmaması için bekletme ocağında ergiyik alaşımlara tane incelticiler eklenir. Ancak, tane inceltici master alaşımları ergiyik alaşımın kimyasını değiştirdiğinden bazı durumlarda tercih edilmezler ve başka seçenekler aranır.



(a) Tek pompa $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takoz makroyapısı (b) Çift pompa $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takoz makroyapısı

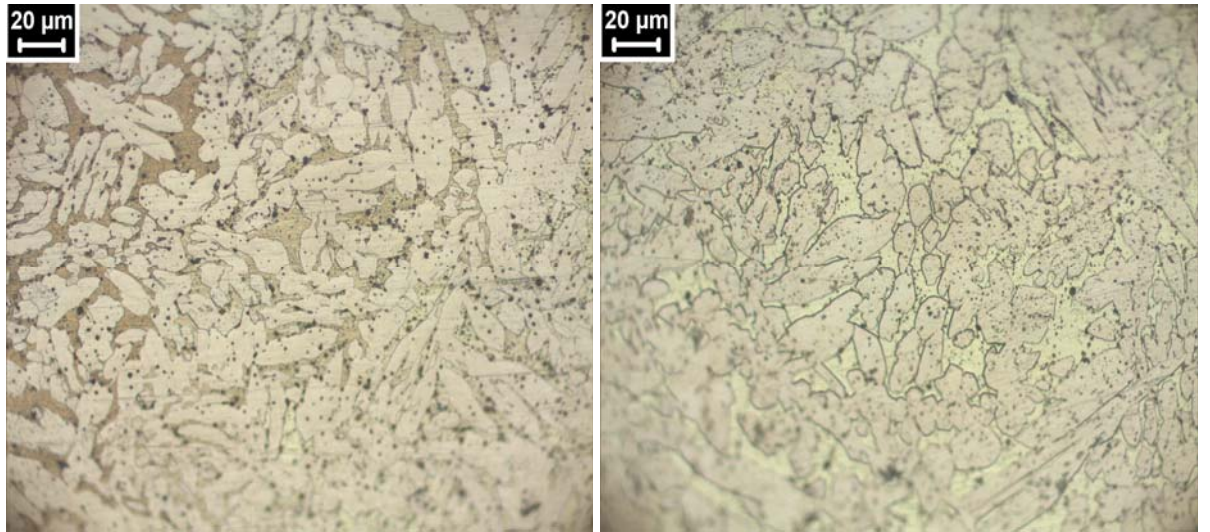
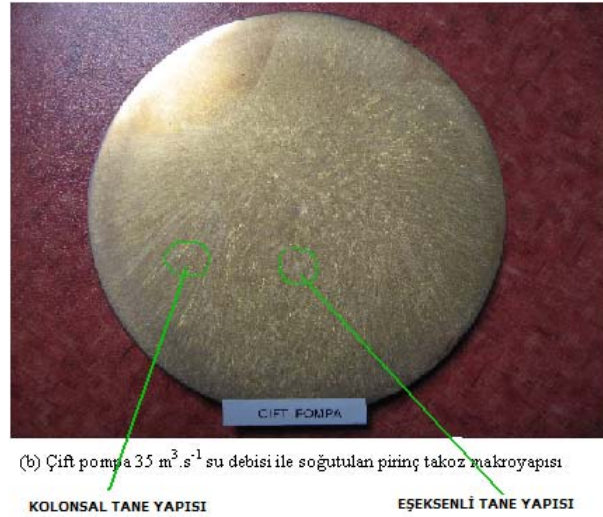
Şekil 6.8 Sürekli dökümde farklı soğutma kapasitelerinde alınan pirinç takozların makroyapıları (x4.3 küçültme).

Şekil 6.8 (b)'de kalıbın çift pompa ile soğutulması durumunda pirinç makroyapısında eşeksenli bölgenin genişlediği, kolonsal tanelerin oluşturduğu bölgenin daraldığı ve tanelerinin incelendiği görülmektedir. Makroyapıdaki bu iyileştirmenin master alaşımı

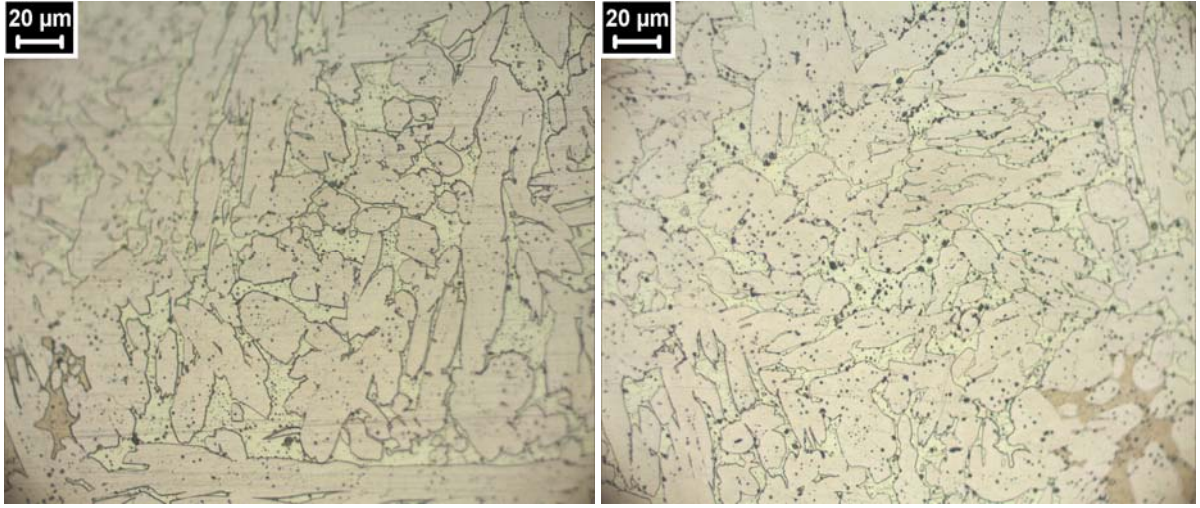
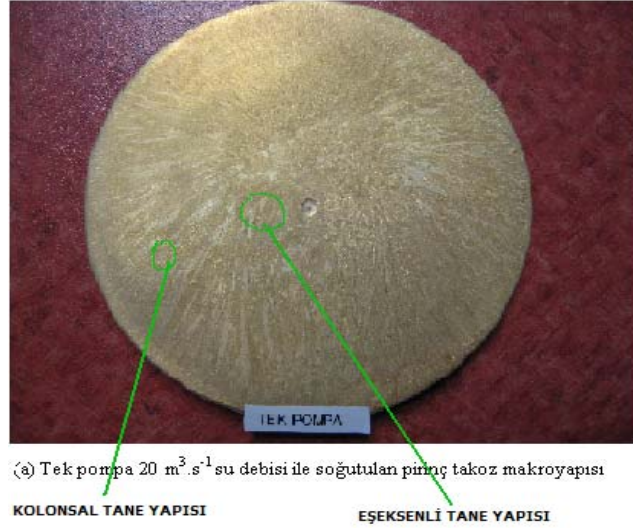
eklenmeden sağlanması önemli bir avantajdır ve bir modernizasyon çalışmasında göz önüne alınmalıdır. Makroyapıdaki iyileştirmenin getirisi, mekanik özelliklerin yükselmesi ve ekstrüzyon öncesi tavlama süresinin kısılması beklentileridir.

6.3.3 Takoz Mikroyapılarının Karşılaştırılması

Her iki makroyapıdan Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterildiği gibi eşeksenli ve kolonsal tanelerin olduğu bölgelerden numuneler alınarak mikroyapıları incelenmiştir. Her iki takozun kolonsal bölgelerinden alınan numunelerin mikroyapılarının farklılığı ortadadır. Tek pompa ile soğutulan takozda en-boy oranları yüksek iri kolonsal taneler görülürken, çift pompa ile soğutulan takozda kolonsal tanelerin oluşturduğu bölgenin daraldığı ve tanelerinin incelendiği açıkça görülmektedir.



Şekil 6.9 $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun a) Eşeksenli tane yapısı (sağda, x200) b) Kolonsal tane yapısı (solda, x200).

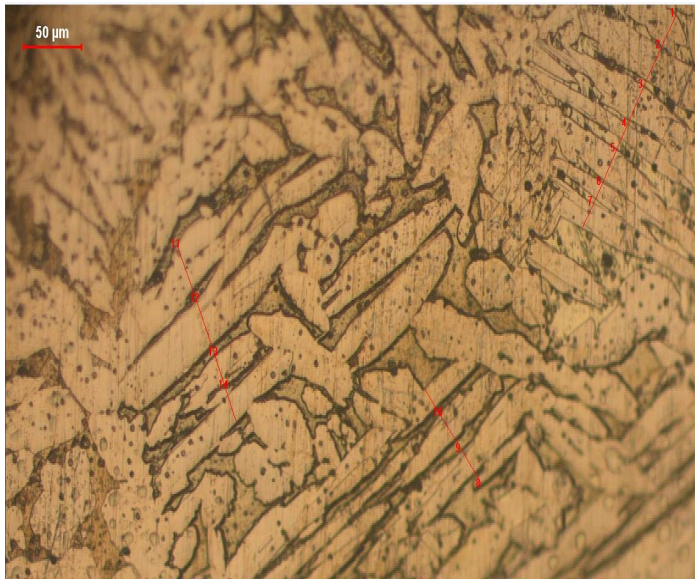


Şekil 6.10 $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun a) Eşeksenli tane yapısı, (sağda, x200) b) Kolonsal tane yapısı (solda, x200).

Tek pompa ile soğutulan takozda merkezden alınan mikroyapı, çift pompa ile soğutulan takozda, merkezin daha aşağısından alınan mikroyapı ile benzer görüntüyü vermektedir. Bu, eşeksenli bölgenin genişlemesinin büyük bir getirisiidir. Eşeksenli ve ince taneli yapı mekanik özellikler açısından arzu edilen ve hedeflenen yapıdır. Hall - Petch Bağıntısı'na göre Akma mukavemetini yükseltmek için eşeksenli ve çapı küçük (ince taneli) bir yapının katılaşması gerekmektedir. Sonuçta daha hızlı soğutulmuş pirinç sürekli döküm takozunda; eşeksenli bölgede tane yapısının incelmesi akma mukavemeti ile birlikte daha yüksek çekme ve kopma mukavemeti sunacaktır.

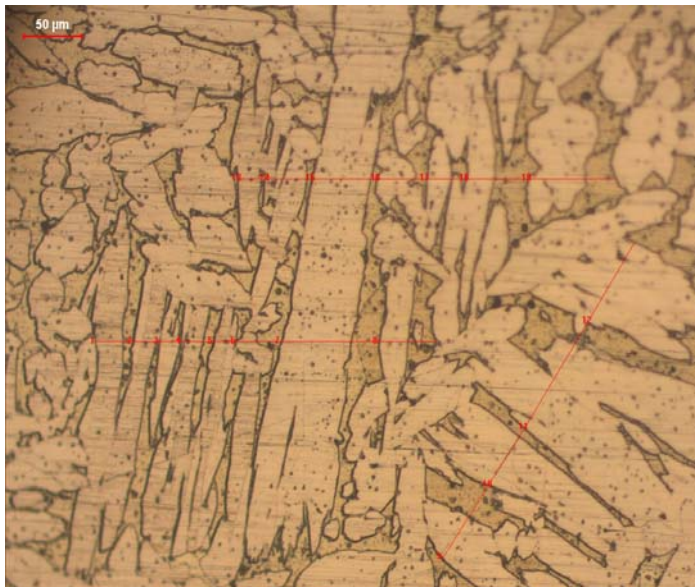
6.3.4 Dallantılararası Uzaklıkların Belirlenmesi

Tek pompa $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun zar bölgesi ile merkezdeki eşeksenli taneler arasında oluşan ve takoz kesitinin büyük bölümünü oluşturan, daha düşük ve anizotrop mekanik özellikler gösteren en-boy oranları yüksek, iri kolonsal taneler arasındaki büyük mesafe, çift pompa $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun aynı bölgeden alınan yapısında yaklaşık yarısı kadardır. Böylelikle eşeksenli bölgenin genişlemesinin getirisi olarak, kolonsal tanelerin oluşturduğu bölgenin daraldığı, tanelerinin en-boy oranlarının da küçüldüğü ve inceldiği görülmektedir.



obje	Mesafe (μm)
1	23.15
2	28.55
3	27.55
4	17.92
5	23.77
6	14.14
7	18.20
8	27.63
9	29.39
10	19.76
11	36.86
12	24.20
13	21.86
ortalama	24.07

Şekil 6.11 $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun dallantılararası mesafeleri (x200).

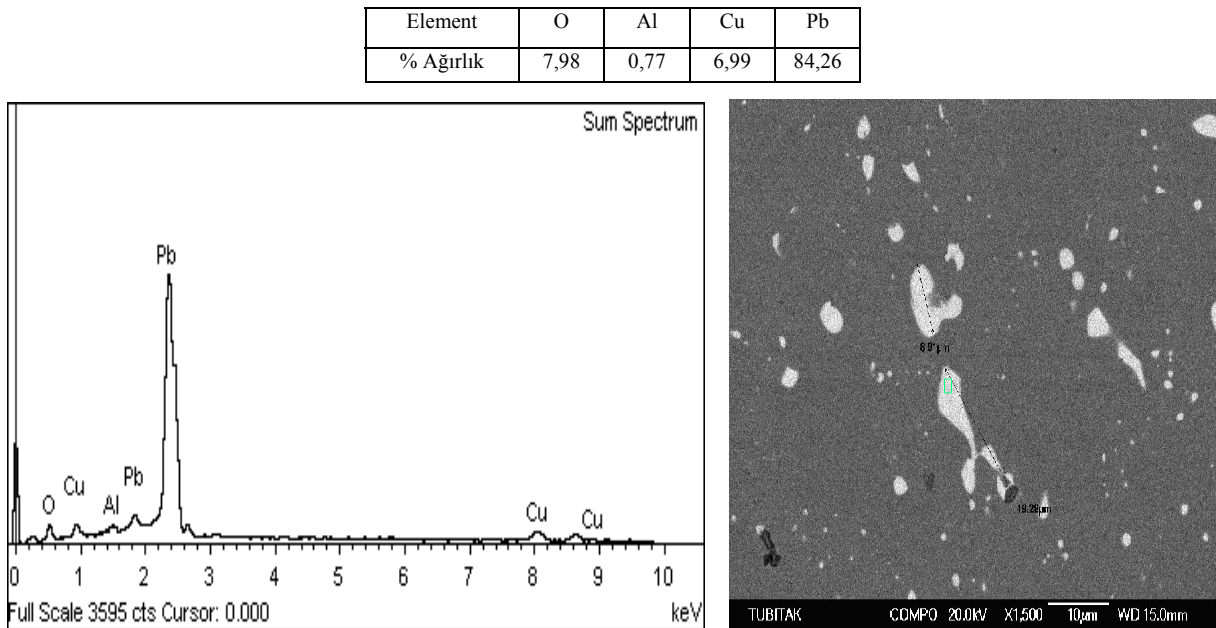


obje	Mesafe (μm)
1	31.50
2	22.57
3	18.90
4	27.82
5	19.42
6	38.32
7	84.00
8	49.87
9	67.32
10	53.04
11	96.69
12	72.66
13	24.15
14	39.38
15	56.17
ortalama	46.72

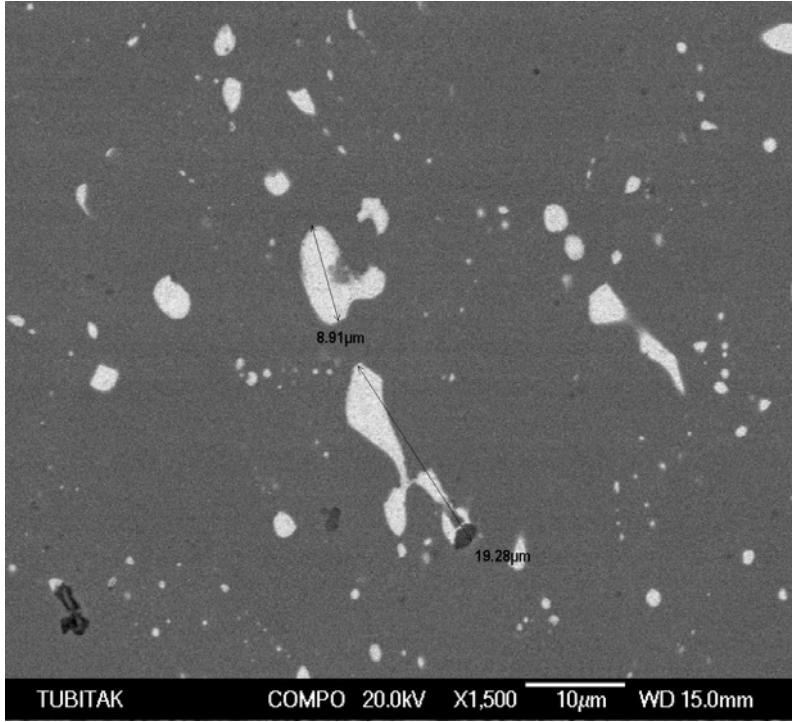
Şekil 6.12 $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun dallantılararası mesafeleri (x200).

6.3.5 Kurşun Tane Boyutunun Belirlenmesi

Pirinç takozun içyapısında homojen ve eşeksenli tane yapısı kadar kurşun küreciklerinin de küçük ve homojen dağılımı son derece önemlidir. Ms58/CuZn39Pb3 pirinci yarı ürün çubukları özellikle doğrudan talaşlı imalata girdiğinden bu malzemeden beklenen özellik; kesme operasyonları boyunca takımın etkili olarak yağlanması, takım ile çalışma parçası ara yüzündeki sıcaklığın azaltılarak takım aşınması ve enerji tüketiminin minimize edilmesi ve kesme kuvvetlerini azaltırken daha rahat bir işleme operasyonu ile maksimum üretilebilirliğin elde edilmesini sağlamasıdır. Bu, mikroyapıda yeteri kadar iyi ve homojen dağılmış küçük kurşun küreciklerinin varlığı ile mümkün olur. Şekil 6.14'de görüldüğü gibi büyük tane boyutu (örn: 8,91 μ m, 19,28 μ m) kurşunun mikroyapıda iyi ve homojen dağılmasına izin vermeyeceğinden başarılı bir işleme operasyonu için gerekli yağlanma özelliğini de sağlamayacaktır. Bölüm 2.5.3.1'de genişçe anlatıldığı üzere literatür den alınan bilgiye göre; kurşun küreciklerinin düzgün dağılımı soğuma hızının bir fonksiyonudur ve başarılı bir işlenebilirliğe ulaşmakta önemli bir rol oynar. CuZn39Pb3 alaşımı katılaştıktan sonra daha hızlı soğutulduğunda bu, daha iyi ve daha küçük kurşun dağılımına olanak vermiştir (Garcia vd., 2009). Yine aynı bölümde bahsedilen avantajlı işleme operasyonlarını sağlaması amacıyla yapıda homojen olarak dağılan kurşun küreciklerinin tane boyutunun 5 μ m dan daha az olması arzu edilir (Pantazopoulos, 2002).

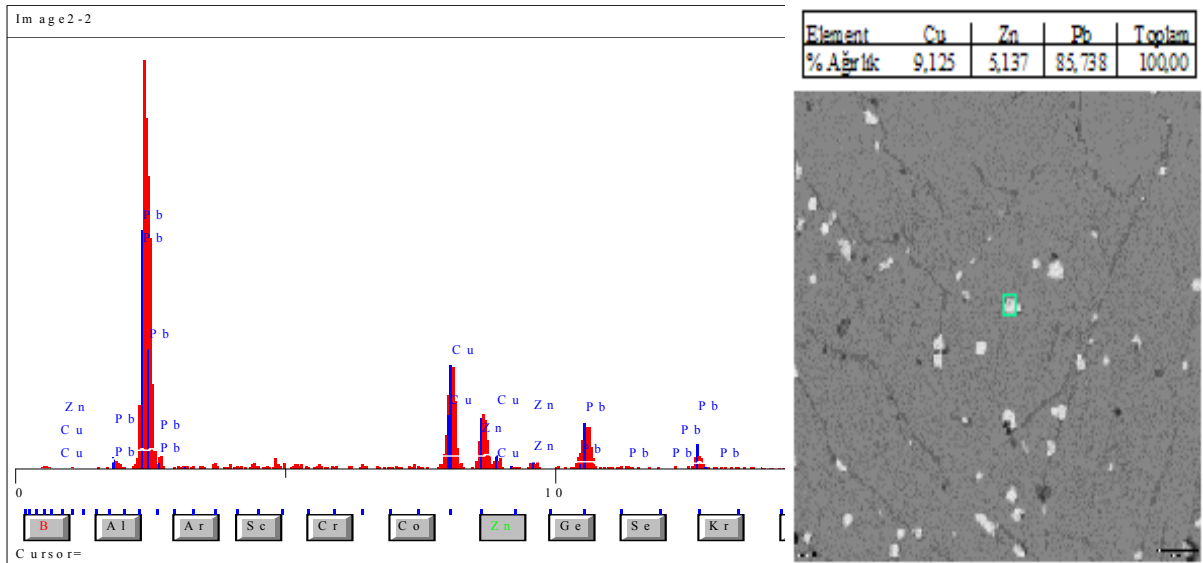


Şekil 6.13 20 m³s⁻¹ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskopuyla kurşun tanelerinin belirlenmesi (x1500).



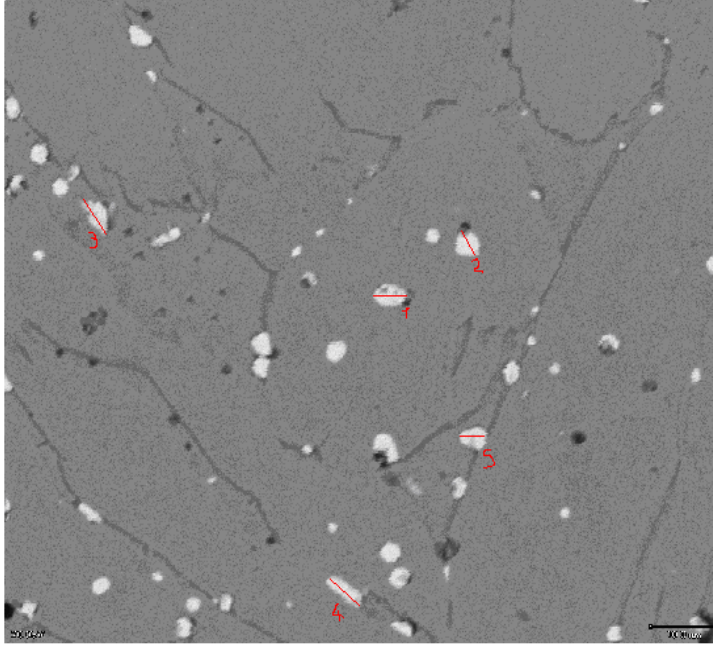
Objekt	Boyut (μm)
1	8,91
2	19,28
ortalama	14,095

Şekil 6.14 $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskopuyla kurşun tane boyutunun belirlenmesi (x1500).



Şekil 6.15 $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskopuyla kurşun tanelerinin belirlenmesi (x1000).

Objekt	Boyut (μm)
--------	------------

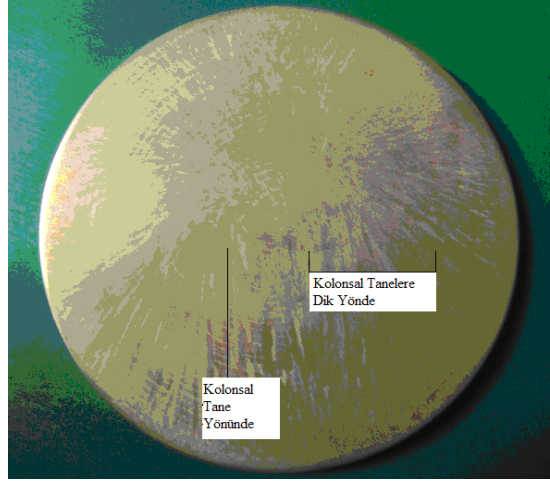


1	4,62
2	3,85
3	6,15
4	6,15
5	3,85
ortalama	4,92

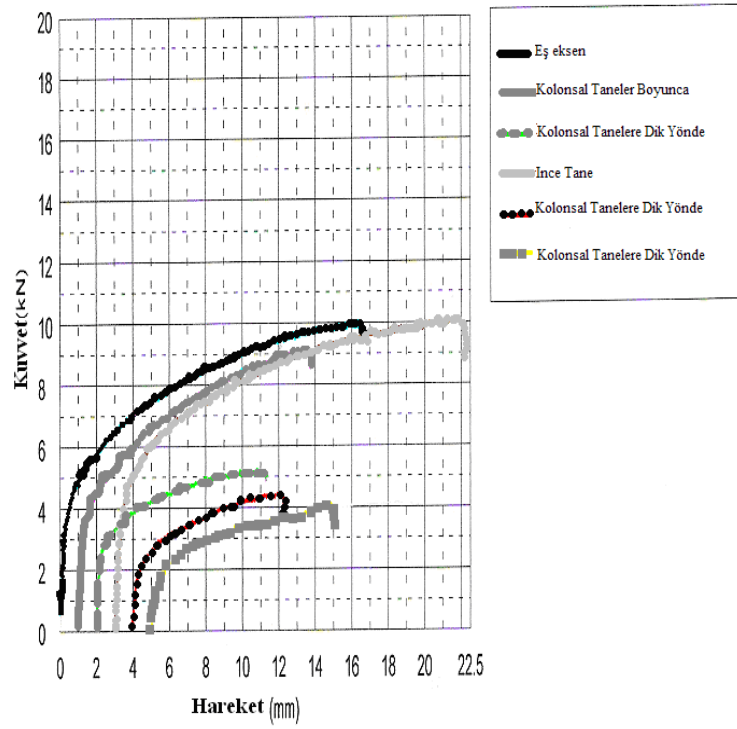
Şekil 6.16 $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takoz mikroyapısında taramalı elektron mikroskopuyla kurşun tane boyutunun belirlenmesi ($\times 1000$).

6.3.6 Mekanik Özelliklerin Tane Yapısı ile Değişiminin İncelenmesi

Çekme özelliklerindeki anizotrop davranışı izlemek üzere tek pompa ($20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile) ile soğutulmuş takoz makroyapısından alınan kolonsal tanelerde uzun eksene paralel ve dik yönlerde ASTM E 8 Standardı'na uygun çekme testi numuneleri kesilmiştir. Çekme testinde elde edilen kuvvet-hareket veya yük-uzama eğrileri Şekil 6.18'de, bu eğrilerden hesaplanan çekme değerleri ise Çizelge 6.4' de topluca verilmiştir. Kolonsal tanelerin mukavemeti ve sünekliği eşeksenli ve ince tanelerden elde edilen değerlerin oldukça altındadır. Çekme yükü zayıf bölgeleri oluşturan tane sınırlarına dik yönde uygulandığından, kolonsal tanelere dik yönde alınan numunelerde en düşük çekme değerleri gözlenmiştir.



Şekil 6.17 Çekme testi numunelerinin alındığı tane yapısı farklı bölgeler (x3,8 küçültme).



Şekil 6.18 Tane yapısı farklı bölgelerin çekme testi sonuçları.

Çizelge 6.4 Şekil 6.17'den elde edilen çekme değerleri.

Tane yapısına göre Alınan Numune	Çekme Mukavemeti (N.mm ⁻²)	Kopma Mukavemeti (N.mm ⁻²)	Kopma Uzaması (%)
Eş Eksenli Bölge	410	363	39
İnce Taneli Bölge	415	357	46
Kolonsal Tane Boyunca	356	331	36
Kolonsal Taneye Dik	333	325	32
Kolonsal Taneye Dik	324	321	32
Kolonsal Taneye Dik	318	311	35

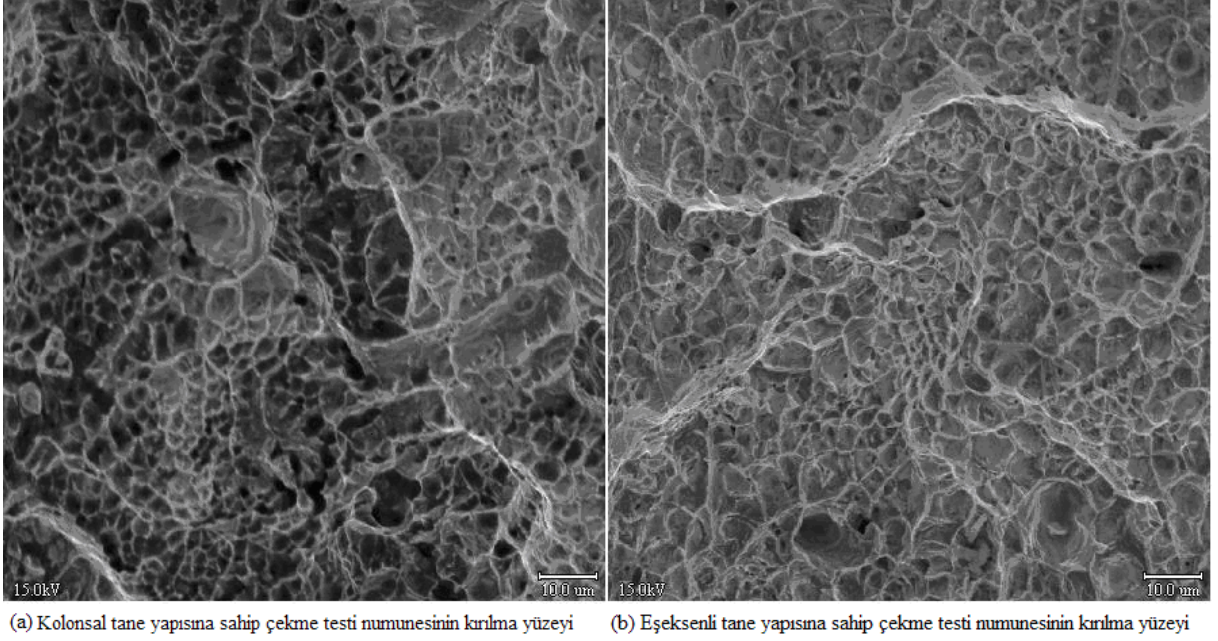
Metallerde akma mukavemetinin tane çapı ile nasıl değiştiğini gösteren Hall - Petch Bağıntısı eşeksenli taneler için daha uygundur. Hall - Petch Bağıntısı, tane boyutunun azalması ile mekanik dayanımın arttığını gösterir.

$$\sigma_{ys} = \sigma_0 + k.d^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Bu bağlantıda d ortalama tane boyutu, k dislokasyon kilitleme parametresi, σ_0 tek taneli ve σ_{ys} çok taneli yapıların akma mukavemetidir. Anlaşılacağı üzere, metallerde akma mukavemeti tek taneli yapıda en düşük seviyededir. Çok taneli yapılarda ise ortalama tane boyutunun karekökü ile ters orantılıdır. Akma mukavemetini yükseltmek için eşeksenli ve çapı küçük (ince taneli) bir yapının katılaşması gerekmektedir. Çift pompa kullanıldığında artan soğutma kapasitesi sonucu grafit kalıp ve sonuçta katılaşmakta olan ergiyik pirinç daha hızlı soğutulduğundan; eşeksenli bölgede tane yapısının incelmesinin, akma mukavemeti ile birlikte daha yüksek çekme ve kopma mukavemeti sağlaması beklenmektedir (Demirkır, 2009).

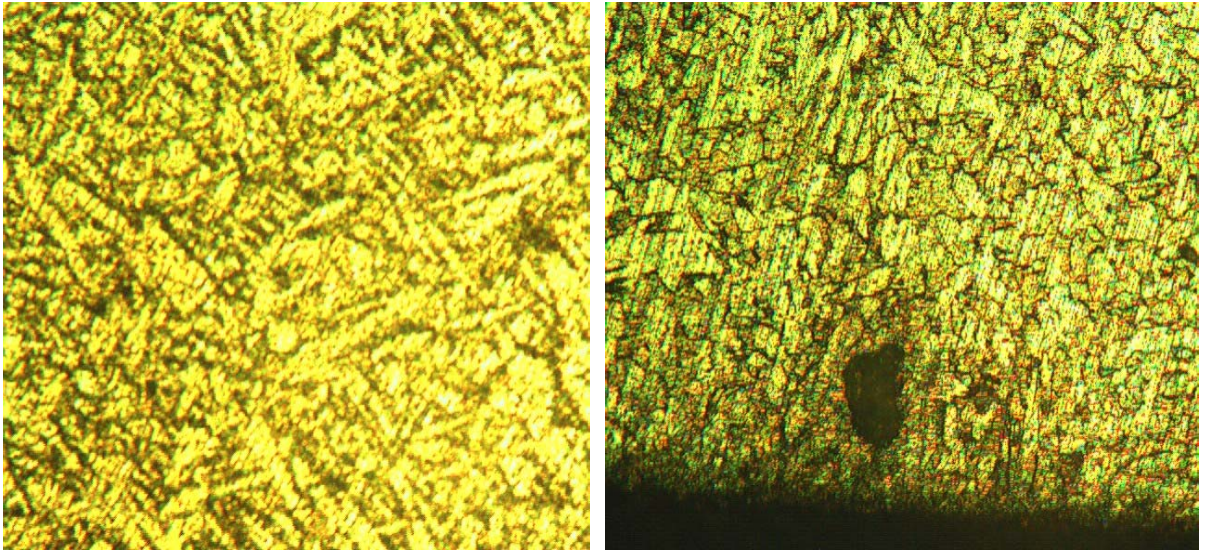
6.3.7 Çekme Testi Numunelerinde Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Çekme testinde kırılan numuneler arasında kolonsal bölgeden alınan bir numunenin kırılma yüzeyi Şekil 6.19 (a)'da ve eşeksenli bölgeden alınan bir numunenin kırılma yüzeyi Şekil 6.19 (b)'de görülmektedir. Kolonsal bölgenin kırılma yüzeyinde dallantılı yapı, dallantılar arasındaki mikroboşluklar ve sünek kırılmayı tanımlayan mikroboşluklu, girintili-çıkıntılı bir topoloji izlenmektedir. Çekme testi sürerken kırılma önce dallantılar arası mikroboşluklarda başlamıştır. Söz konusu mikroboşluklar, katılaşma sırasında dallantı kolları arasında kalan mikron ölçekli dar bölgelerin ergiyik pirinçle yeteri kadar beslenememesinin sonucudur. Bir tedbir olarak kalıp girişinde ergiyik üzerindeki hidrostatik basıncın yükseltilmesi bu dar bölgelerin yeterli derecede beslenmesini sağlayabilir. Dallantıların içerisinde oluşmuş mikroboşluklar ise sünek kırılmanın işaretidir. Çekme testi sürerken numune dallantı sınırları boyunca ayrılmaya başladığından kesit alanı azalmış ve kalan kesit aşırı yüklenme ile sünek biçimde kopmuştur. Diğer yanda, eşeksenli bölgeden alınan numunenin kırılma yüzeyinde yalnızca sünek kırılmanın göstergesi olan mikroboşluklar görülmektedir. Dallantılı yapı bulunmadığından dallantılar arası mikroboşluklar da oluşmamıştır. Eşeksenli numunelerde daha yüksek mukavemet ve süneklik (kopma uzaması) değerleri izlenmesinin bir nedeni dallantılar arası mikroboşlukların yokluğudur.



Şekil 6.19 Kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu altında görüntüsü (x1000).

6.3.8 İçyapıda Mikrosegregasyon ve Makrosegregasyon



Şekil 6.20 Sürekli döküm ürünü pirinç takoz mikroyapısında; solda dallantılı yapıda mikrosegregasyon (x100) ve sağda pirinç takoz tabanında kurşun çökeltisi (x100).

Tek pompa ile ($20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ su debisi ile) soğutulan pirinç takozun yukarıdaki mikroyapılarında segregasyon görüntüleri Pireks Fabrikasının laboratuvarında yeralan Olympus PMEÜ 3 marka ışık mikroskobu ile görüntülenmiştir. Bölüm 4.4'te genişçe değinildiği üzere, % 60 Cu

- %40 Zn içeren ergiyik pirinç katılaşmaya başladığı anda katı fazdaki bakır yüzdesi % 60'dan daha yüksektir. Katılaşma sonunda ise ergiyik pirinç çinkoca zengin bir duruma gelmiştir ve % 40 Zn'den yüksek çinko içeren bir ergiyik katılaşır. Şekil 6.20'de soldaki dallantılı yapıda dallantı merkezleri bakır, dallantı kolları ise çinko yönünden zengindir. Oluşan mikrosegregasyon ekstrüzyon öncesi tavlama işleminde katı hal yayınması sonucu giderilir. Yoğunluğu ergiyik pirincin üzerinde olduğundan katılaşma sırasında yerçekimi etkisiyle takoz tabanına yakın bölgelerde oluşan ve Şekil 6.20'de sağdaki mikroyapıda gösterilen kurşun makrosegregasyonu ise tavlama ile giderilemez ve kalıcıdır. Ergiyiğin daha etkin karıştırılması ile içyapıda daha homojen bir kurşun dağılımı sağlanabilir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Soğutma suyu debisinde, dolayısı ile soğutma suyu kapasitesindeki artışın ağırlıklı olarak makroyapıdaki tane yapısını nasıl değiştirdiği ve bu değişiklikten mekanik özelliklerin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Grafitten imal edilmiş sürekli döküm kalıbının tek pompa ile ($20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi) ve kalıbın çift pompa ile ($35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi) ile soğutulması durumunda katılan makroyapılar görüntülendiğinde; $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takozun makroyapısında eşeksenli bölgenin genişlediği, kolonsal tanelerin oluşturduğu bölgenin daraldığı ve tanelerinin incelendiği görülmektedir. Makroyapıdaki bu iyileştirmenin tane inceltici master alaşımı eklenmeden sağlanması önemli bir avantajdır ve bir modernizasyon çalışmasında göz önüne alınmalıdır.

2. Takoz çeperine yakın dar bir bölgede oluşan çok ince taneli zar bölgesi ile takoz merkezindeki eşeksenli taneler mekanik özellikler açısından tercih edilen tane yapılarıdır. Zar bölgesi ile merkezdeki eşeksenli taneler arasında oluşan ve takoz kesitinin büyük bölümünü dolduran en-boy oranları yüksek, iri kolonsal taneler daha düşük ve anizotrop mekanik özellikler sergilediklerinden çoğunlukla tercih edilmezler. $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulduğunda pirinç takozun makroyapısının genişleyen bir eşeksenli bölgeye sahip olduğunu biliyoruz. Ancak fabrika şartları her zaman farklıdır ve işin içerisine maliyet unsurları girdiğinde deneysel verilere en yakın olacak optimum işletme parametrelerini uygulamak mümkün olmaktadır. Bu bağlamda $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takozun fabrikanın seri üretimi olduğu düşünüldüğünde ve Avrupa’da yeni işletmeye alınmış, modern bir sürekli döküm tesisinde üretilen bir pirinç takozun makroyapısıyla da karşılaştırıldığında aralarında büyük bir benzerlik olduğu görülmektedir. Her iki makroyapıda da tam takoz merkezinde görülmesi beklenen eşeksenli bölgenin takozun alt ve üst yüzeylerine yakın bölgeye kayması asimetric soğutma koşullarından kaynaklanmıştır. Takozun alt ve üst soğutma şartları dengelenerek bunun önüne geçilmelidir.

3. Çekme özelliklerindeki anizotrop davranışı izlemek üzere tek pompa ($20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi) ile soğutulmuş takoz makroyapısından alınan numunelerde kolonsal tanelerin mukavemeti ve sünekliğinin eşeksenli ve ince tanelerden elde edilen değerlerin oldukça altında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takozun makroyapısında

eşeksenli bölgede tane yapısının incelenmesi, akma mukavemeti ile birlikte daha yüksek çekme ve kopma mukavemeti sağlaması beklenir.

4. Çekme testinde kırılan numuneler arasında kolonsal ve eşeksenli bölgeden alınan numunelerin kırılma yüzeyleri karşılaştırıldığında; eşeksenli bölgeden alınan numunenin kırılma yüzeyinde yalnızca sünek kırılmanın göstergesi olan mikroboşluklar görüldüğü ve dallantılı yapı bulunmadığından, yüksek mukavemet ve süneklik (kopma uzaması) değerleri izlenmesine sebep olan dallantılar arası mikroboşlukların da oluşmadığı görüntülenmiştir. Çift pompa ile ($35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi) ile soğutulan pirinç takozun kolonsal bölgesinden alınmış mikroyapısında da kolonsal tanelerin en-boy oranlarının küçülüp incelererek dallantılararası mesafelerin iyice azaldığı görüldüğünden, bunun, geniş bir eşeksenli bölgeye sahip pirinç takoz döküm yapısının getirisi olduğu ortadadır.

5. $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozun mikroyapısında kurşun küreciklerinin, yaklaşık $5 \text{ }\mu\text{m}$ tane boyutlarıyla başarılı bir işleme operasyonuna imkan veren iyi ve düzgün dağılımı gözlenmektedir. Yatay sürekli pirinç dökümünde kalıpta takozu uygulanan yüksek soğuma kapasitesi, yerçekimi etkisiyle pirinç takozun tabanına doğru yönelen küçük kurşun küreciklerini yerçekimine ters yönde bir harekete zorlayarak bir itme etkisi yaratmış ve makrosegregasyonun oluşumuna engel olmuştur. Dolayısıyla içyapıda daha homojen bir kurşun dağılımını sağlamıştır. Ancak $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulan pirinç takozda bundan bahsetmek mümkün değildir. Kurşun küreciklerinin yoğunluğu ergiyik pirincin üzerinde olduğundan, katılaşma sırasında yerçekimi etkisiyle takoz tabanına yakın bölgelere yerleşerek neden olduğu kurşun makrosegregasyonu, tavlama ile giderilemez ve kalıcıdır. Ergiğin daha etkin karıştırılması ile içyapıda daha homojen bir kurşun dağılımı sağlanabilir.

6. Düşük döküm hızı ve yüksek soğutma kapasitesi daha sıkı ergiyik metal havuzunun oluşmasına neden olur. Bu, takoz yüzey hatalarına ve ısı çıkarımının zorluğuna sebep olan hava boşluğu oluşumunu azaltacak, dolayısıyla katılaşma hızının enine kesiti boyunca değişimi en aza inecektir. Hava boşluğu oluşumunun azaltılmasıyla artan ısı transferi nedeniyle katılaşma hızı yükselir. Kalıptaki soğutma etkisinin artışıyla takoz yüzeyi daha soğuk kalır. $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ su debisi ile soğutulmuş pirinç takozda soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıklarının düşük kalması ve sıcaklık dalgalanmalarının düşük seyretmesi, döküm süreci boyunca takoz yüzeyinin soğuk kalmasının da bir nedenidir. Pirinç takozların yatay sürekli dökümünde hedef olan daha ince taneli bir takoz yapısına ulaşılması amacıyla daha yüksek soğuma etkisinin kullanılmasının zorunluluğu, üretilebilirliği ve verimliliği arttırmak için bir yöntem olarak düşünülmeli ve hayata geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

Akbulut, Prof. Dr. H., (2006), Çekirdekleşme, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği.

Akgün, O., (2000), Pirinç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, Editor: Hugh Baker, Volume 3.

ASM Metals Handbook, (1970), Source Book on Copper and Copper Alloys, Metals Park, 8th. Ed., Volume: 5, Ohio, 44073.

ASM Metals Handbook, (1988), Forming and Forging, 9th. Ed., Volume: 14.

ASM Metals Handbook, (1991), Heat Treating, Volume: 4.

ASM Metals Handbook, (1991), Machining Process, 8th. Ed., Volume: 3.

ASTM Standard B16, (2000), ‘Annual Book of ASTM Standards’, Section 2, Volume: 2.01, Pages: 6–9, USA.

ASTM Standard B 455, (2000), ‘Annual Book of ASTM Standards’, Section 2, Volume: 2.01, Pages: 601–603, USA.

ASTM Standard B 124, (2000), ‘Annual Book of ASTM Standards’, Section 2, Volume: 2.01, Pages: 175–179, USA.

Bebber, H. ve Pillipps, G., (1998), “Induction Furnace Technology for Horizontal Continuous Casting”, Metallurgia, Volume:65, Page: 349, United Kingdom.

Blaz, L., Konior, Z. ve Majda, T., (2001), “Structural Aspects of Alfa-beta Transformation in Hot Deformed CuZn39Pb3 Alloy”, Journal of Materials Science, Pages: 3629-3635.

Brey, M., (2001), “Horizontal Continuous Casting of Copper Alloy Billets”, Vol: 55, No: 1-2, Pages: 45-49, Metall, Berlin.

Brown, J. R., (1994), Foseco Non-Ferrous Foundryman’s Handbook, 10th.

Carbone Lorraine, (2009), Specialty Graphite Materials for Continuous Casting, France.

Copper. Org, (2009), Non Leaded Red Brass and Yellow Brass Casting Alloys, Copper Development Association, Alloy Data Sheet, EnviroBrass (SeBiLOY), Newyork.

Davis, R. J., and Associates (2001), ASM Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys, 1st Ed., Materials Park, OH, USA.

Demirer, S. U., (2006), Phase Diagrams, Chapter:10, Çankaya Üniversitesi.

Demirkır, R., Gürbüz, A., ve Savaş, M., (2007), “Pirinç Alaşımlarında Sıcak Ekstrüzyon Kusurları” Bildiri, Malzeme Lab., Pireks A.Ş., İstanbul.

Demirkır, R., Çelikdağ, G., Savaş, M. A. ve Çakıroğlu, B., (2009), “Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilen Kurşunlu Pirinç Takozlarda Döküm Kalitesi ve Mekanik Özellikler”, Bildiri, Malzeme Lab., Pireks A.Ş., İstanbul.

Diñer, Dr. N., (1983), “Sürekli Döküm Teorisi”, Mühendis ve Makine Aylık Teknik Dergi, Sayı: 288, Sayfa: 5-10.

Eickhorn, K. Dr. Ing., (1966), Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing), Herausgeber, Deutsches Kuper-Institut, Berlin.

EN 12164/12165, (1998), “Copper and Copper Alloys: Rod for Free Machining Purposes”, European Committe for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

Erdoğan, Dr. M., (2001), Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri: Demir Dışı Alaşımlar, Cilt 2, (W. F. Smith, Structure and Properties of Engineering Alloys, 2.baskıdan çeviri), Ankara.

European Copper Institute, (2007), Recommendation on The Non-Use of Bismuth For Lead Substitution.

Garcia, P., Rivera, S., Palacios, M., ve Belzunce, J., (2009), “Comparative Study of The Parameters Influencing The Machinability of Lead Brasses”, Engineering Failure Analysis, Elsevier, Pages: 1-6.

Gündüz, İ., (2004), Pirinç Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gürleyik, M. Y., (1988), Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, (Domke, W. Verlag, W., (1977), 7. baskıdan çeviri, Girardet Essen.), Trabzon.

Heinke, R., Hentrich, R., Buch, M. ve Roller, E., (1985), “Solidification Phenomena During Horizontal Continuous Casting with Oscillating Mould”, Transactions ISIJ, Technical Report, Volume: 25, Pages: 142-148.

Hofmann, U. ve El-Magd, E., (2005), “Behaviour of Cu-Zn Alloys in High Speed Shear Tests and in Chip Formation Processes”, Materials Science and Engineering A 395, Pages: 129-140, Elsevier.

Hui-ying, Z., Xu-dong, W., Liang-Liang, G. ve Man, Y., (2008), “Real Heat Flux Analysis of Continuously Casting Round Billet”, Science Direct, Pages: 25-29.

Izumi, O. ve Kawasaki, M., (1956), Improvement of Copper Alloy Springs, 60/40 Brass Series Containing Iron, Manganese and Tin, Tohoku University, Japan.

Karpagavalli, R. ve Balasubramaniam, R., (2007), “Influence of Arsenic, Antimony and Phosphorous on The Microstructure and Corrosion Behavior of Brasses”, J. Materials Science, Pages: 5954-5958.

Kianfar, S., Seyedein, S.H. ve Aboutalebi, M.R., (2009), “Heat Transfer and Solidification Analysis in the Mould Region of a Horizontal Copper Alloy Bilet Continuous Caster”, International Journal of Cast Metals Research, Volume:22, No: 1-4, Pages: 160-163.

Kondracki, M. ve Szajnar, J., (2007), “Special Non-Leaded Brasses for Permanent Mould Casting”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume: 25, Issue: 2.

Kramer, D. K., (1997), Brass Alloys, United States Patent, Patent number: 5,653,827.

La Fontaine, A. ve Keast, V. J., (2006), “Compositional Distributions in Classical and Lead Free Brasses”, Australian Key Centre for Microscopy and Microanalysis, University of Sydney, Materials Characterization, Pages: 424-429, Australia.

Lohikoski, T., (1970), “The Horizontal Casting of Copper Alloys at Outokumpu Oy”, Copper and Its Alloys, Monograph and Report Series No:34, Pages: 40-42.

Lyman, T., (1973), ASM Handbook vol 8: Metallography and Microstructures and Phase Diagrams, 8nd Ed. ASM Handbook Committee, OH.

Mahmoudi, J., (2005), “Horizontal Continuous Casting of Copper Based Alloys”, International Journal of Cast Metals Research, Volume:18, No: 6, Pages: 355-369.

Mahmoudi, J. ve Nabati, H., (2006), “An Experimental Study on Productivity and Quality Improvement of Horizontal Continuos Casting Process”, International Journal of Green Energy 3, Pages: 185-199.

Mendenhall, J. H., (1980), Understanding Copper Alloys, Newyork.

Meran, C., (2001) Pirinç Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği ve Uygun Kaynak Parametrelerinin Tespiti, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Mindivan, H., (2001), Yüksek Mukavemetli Pirinçlerin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Oğuz, B., (1990), Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayınları, Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul.

Okano, M., (1978), Copper Alloys with Improved Corrosion Resistance and Machinability, United States Patent, Patent number: 4,101,317.

Okano, M., (1978), Copper Alloys of Excellent Corrosion Resistance, Moldability and Workability, United States Patent, Patent number: 4,113,474.

Pantazopoulos, G., (2002), “Leaded Brass Rods C38500 for Automatic Machining Operations: Technical Report”, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume: 11, Pages: 402-407.

Reynolds, M. P. ve Levene, B. C., (1970), “Automatic Inspection of Copper and Copper Alloy Billets”, Copper and Its Alloys Monograph and Report Series, No:34, Pages: 205-212.

Sohn, S. ve Kang, T., (2001), “The Effects of Tin and Nickel on the Corrosion Behavior of 60 Cu- 40 Zn Alloys”, Journal of Alloys and Compounds, Elsevier, Pages: 281-289.

Singh, R. A., (1994), Copper-Bismuth Alloys, United States Patent, Patent Number: 5,330,712.

Sommerhofer, H. ve Sommerhofer, P., (2007), Continuous Casting Method, United States Patent Application Publication, Publication No: US 2007/0074846 A1.

Spence, G. L., (2005), Caster Filtration for Continuous Cast Copper Rod, Encore Wire Corporation, USA.

The Brasses Properties and Applications, Publication 117.

Tsuru, M., Saiki, T. ve Nakajima, A., (1994), Withdrawal Control Process of Horizontal Continuous Casting, United States Patent, Patent Number: 5,305,820.

Turbaloğlu, K., (2008), Alüminyum Billetin Döküm ve Ekstrüzyon için Kalitesinin Kıyaslanması, Metal Dünyası Dergisi.

Uchida, T., (2009), Lead-Free Free-Machining Brass Having Improved Castability, United States Patent Application Publication, Pub. Number: US 2009 / 0263272 A1.

Vilarinho, C., Davim, J. P., Soares, D., Castro, F. ve Barbosa, J., (2005), “Influence of The Chemical Composition on The Machinability of Brasses”, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, Pages: 441-447.

Waschke, H., (1997), Brass Alloys, United States Patent, Patent Number: 5,630,984.

Welzel, W., Quadfasel, U. ve Konczalla, M., (1996), “FEM-Calculation of Thermal Stresses in Graphite Dies Used in Horizontal Continuous Casting of Copper and Copper Alloys”, Metal, Pages: 705-712, Germany.

Xintao, L., Zhaoxiang, G., Xiangwei, Z., Bi, W., Fengbao, C. ve Tingju, L., (2007), “Continuous Casting of Copper Tube Billets Under Rotating Electromagnetic Field”, Materials Science and Engineering, Elsevier, Pages: 648-651.

Yılmaz, Prof. Dr. F., (2008), Pirinçlerin Özellikleri ve Yenilikler, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sarbak Seminerleri Power Point Sunum.

Yılmaz, Prof. Dr. F., (2008), Pirinç Döküm: Gelişmeler ve Yeni Pazar Talepleri 2, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sarbak Seminerleri Power Point Sunum.

Yu, J., Jiang, J., Ren, Z., Ren, W. ve Deng, K., (2009), “A New Method of Continuous Casting of Copper Billets by a Combination of AC Current and Magnetic Fields”, Materials and Design, Pages: 4565-4569.

Zhiming, Y., Hui, L., Tingju, L., Xiaoging, Z., Zhigiang, C. ve Xiaoli, Z., (2008), “Effects of Alternating Magnetic Field and Casting Parameters on Solidification Structure and Mechanical Properties of Copper Hollow Billets”, Materials and Design, Elsevier, Pages: 1245-1250.

İNTERNET KAYNAKLARI

www.Asarco.com

www.envirobrass.com.

www.ldmbrass.com

www.Outokumpunordicbrass.com

www.Substech.com.

MALZEME ÖZELLİĞİNİN KISA GÖSTERİMİ							
(ÖRN: ÇEKME DAYANIMI: 500 N mm ⁻²)							
STANDART NUMARASI					TOLERANS SINIFI		
ADLANDIRMA		MALZEME KISA GÖSTERİMİ			KÖŞEĞEN ÖLÇÜLERİ		
					KESİT ŞEKLİ		
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Rod	EN 12164	CuZn39Pb3	R500	RND	15	A	
Rod	EN 12164	CW 614 EN	R500	RND	15	A	

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Ecevit DUZMAN

Haritacılar Cad.Ahmet Sayın Apt.21 / 11 Petrol İş Mah. Kartal / İSTANBUL

Doğum Tarihi 22.05.1972

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1983-1989 50.Yıl Tahran Lisesi

Lisans 1990-1996 Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji
Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

1997 Ocak- 1997 Şubat Parsat Piston, Dökümhane Mühendisi

1998 Nisan-1998 Kasım Askerlik, 18.Zırhlı Tugay GELİBOLU

1999-2007 Gür Metal Hassas Döküm, Mekanik İşlemler Şefi