



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı

Thermal Furnace Design and Manufacturing in a Flow-Controlled System

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin KARASU¹, Cengiz DOĞAN²

¹ ORCID ID: 0000-0002-5177-3797

² ORCID ID: 0000-0002-1914-7569

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karasu H., Doğan C., “Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 122-129, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1212093



Akış Kontrollü Sistemde Isıl Fırın Tasarımı ve İmalatı

Hüseyin KARASU^{1,2*}, Cengiz DOĞAN¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA

²Harran Üniversitesi, Şanlıurfa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü 63200, Eyyübiye/ŞANLIURFA

Makale Bilgisi

Başvuru: 30/11/2022
Yayın: 31/08/2023

Anahtar Kelimeler

Pota
Nikel-Krom Direnç
Isıl Fırın

Keywords

Melting Pot
Nickel-Chromium
Resistance
Thermal Furnace

Öz

Çalışmanın amacı, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan metal tozlarının daha ekonomik bir yöntemle elde edilebilirliğini göstermektir. Bu çalışmada su atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretimi için bir ısıl fırın ve demir pota tasarımı yapılarak imal edilmiştir. Fırın tasarımında yüksek ergime sıcaklığına sahip nikel-krom direnç telleri ve ısı randımanını sağlamak amacıyla yüksek ısıya dayanıklı fırın taşları kullanılmıştır. Düşük maliyetinden dolayı demir malzemeden yapılan potanın anlık sıcaklık takibi termokupullar ile sağlanmıştır. Sonuç olarak düşük erime sıcaklığına sahip metallerin kontrollü bir biçimde ergitildiği fırın-pota sistemi ekonomik olarak imal edilmiş ve bu sistemde kurşun metal tozları başarıyla üretilmiştir.

Thermal Furnace Design and Manufacturing in a Flow-Controlled System

Abstract

The aim of the study is to show the availability of metal powders, which are widely used in the manufacturing industry, with a more economical method. In this study, the water atomization method designed and manufactured a thermal furnace and iron crucible for metal powder production. In the furnace design, nickel-chromium resistance wires with high melting temperature and high temperature-resistant furnace stones are used to provide heat efficiency. Due to their low cost, thermocouples provide instant temperature monitoring of the crucible made of iron material. As a result, the furnace-crucible system in which metals with low melting temperatures are melted in a controlled manner has been economically manufactured, and lead metal powder produced successfully in the system.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atomizasyon, sıvının damlacıklara ayrılması olarak tanımlanabilir. Sıvı hale gelen her madde atomize olabilir [1]. Toz, ince bölünmüş katı partikül olarak tanımlanabilir. Burada sözü geçen toz, mühendislik sahasında kullanılan metal tozlarıdır. Metal tozların üretimi; toz metalurjisi ismi altında onlarca yıldır çeşitli endüstrilerde uygulanan çok yararlı bir üretim sürecidir [2]. Bu çalışmada, metal tozun üretilmesi için bir ısıl fırın ve bu fırının içerisinde metalin ergitildiği bir pota tasarlanmış ve imalatları gerçekleştirilmiştir. Isıl fırını için ısıtıcı eleman önemli bir role sahiptir. Isıl fırının ısıtılmasının hangi yöntemle yapılacağına karar verilmiştir. Verilen karar doğrultusunda elektrik ile ısıtma tercih edilmiştir. Elektrikli ısıtmanın tercih edilme sebebi; daha ucuz, temiz, kirlilik içermemesi, çevre dostu, ısıtma kontrolünün kolaylığı ve yüksek ısıtma verimine sahip olmasıdır. Ayrıca elektrikli ısıtma sistemlerinin; otomatik olarak korunma, iletken olmayan malzemelerin ısıtılması, daha iyi çalışma şartları, az yer kaplama ve yüksek sıcaklarda çalışma kapasitesine sahip olması gibi avantajları vardır. Birçok elektrik ısıtma yöntemi vardır. Elektrikle ısıtma; normal elektrik frekanslı ısıtma ve yüksek frekanslı ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. Normal elektrik frekanslı ısıtma da kendi arasında üçe

*İletişim yazarı, e-mail: h-karasu@harran.edu.tr

ayrılır. Bunlar: dirençle ısıtma, ark ile ısıtma ve elektron bombardımanı ile ısıtmadır.. Yüksek frekanslı ısıtma yöntemi de İndüksiyonlu ısıtma ve dielektrik ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. Dirençli ısıtma ise, doğrudan dirençle ısıtma, dolaylı dirençle ısıtma ve kızılötesi ışınla ısıtma olarak üçe ayrılır. Ark ile ısıtma; doğrudan ark ısıtma ve dolaylı ark ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. İndüksiyonla ısıtma da, doğrudan indüksiyonla ve dolaylı indüksiyonla ısıtma şeklinde gerçekleşir. Bu elektrikle ısıtma yöntemlerinden biri olan dolaylı dirençle ısıtma yöntemi, ucuzluğundan dolaylı tercih edilmiştir. Dolaylı dirençle ısıtma yönteminde ısıtıcı eleman, sistemin en önemli parçasını oluşturmaktadır. Bunun için ısıtıcı eleman seçiminde bir dizi faktör göz önünde bulundurulmuştur [3]. Metal tozun üretilmesinde, ısı fırın ve pota önemli rollere sahiptir. Bu çalışmada gerek ısı fırın gerekse potanın tasarımı ve imalatı için ayrı başlıklar şeklinde detaylı bir araştırma ve inceleme yapılmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan fırın ve pota sistemleri iki ayrı bölümden oluşmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Isıl Fırın

Bir metal tozunu elde etmek için söz konusu metalin ergitilmesi gerekir. Bu çalışmada düşük ergime sıcaklığına sahip metaller için bir ısı fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu ısı fırının imal edilmesinde; 2 mm kalınlığında, 1000x200 mm boyutlarında ince bir demir sac, 500x250 mm edatında bir gaz beton, kanallı fırın taşları, nikrom elektrik tel direnci, elektrik bağlantısı için 3m uzunluğunda ve 3x6 ebadında antigron kablo, ısı dayanıklı porselen klemens ve izole boncuk kullanılmıştır.

Fırının izolasyonunda kullanılan gaz beton malzemeden üç farklı ebatta parça kesilmiştir. Bunlardan biri, 30x160x160 (mm) boyutlarında; diğeri 30x70x160 (mm) ve üçüncüsü 20x200x200 (mm) boyutlarındadır.. Bu parçalardan, 30mm kalınlıkta, 160 mm genişlikte ve 160 mm yükseklikte olan parça iki adettir. 20 mm kalınlıkta, 200mm uzunlukta ve 200 mm genişlikte olan üçüncü gaz beton parçası tek parçadan oluşmaktadır. Isıl fırınında kullanılan başka bir malzeme de kanallı fırın taşı malzemesidir ve Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu fırın için kullanılan yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeden yapılan kanallı fırın taşları; ebadı 60 x130 mm olan ve üzerinde 6 adet kanal bulunan ve 4 adet parçadan oluşmuştur. Isıl fırın için kullanılan en son malzeme ise 1800 mm uzunlukta 1 mm çapında nikrom elektrik direnç telidir.

1mm çaplı nikrom elektrik teli, torna makinesi ile 9 mm trans demirin üzerine bükülerek spiral şekline dönüştürülmüştür. Spiral şekline getirilmiş olan bu nikrom elektrik rezistans teli, fırın taşının kanallarından geçirilerek fırın taşlarını bir araya getirilen gaz beton malzemesinin içerisine Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



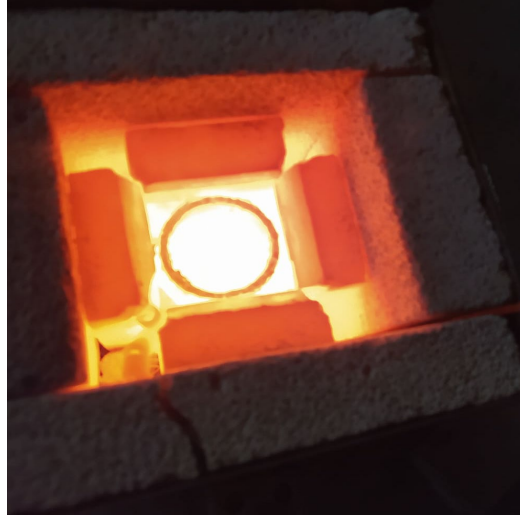
Şekil 2.1. Kanallı fırın taşı ve Nikrom direnç teli

1000 mm uzunlukta olan bir sac malzeme, 200 mm eşit aralıklarla üç yerden büküm makinesi ile bükülmüş, açık olan kenar uçları kaynak makinesi ile birleştirilerek ince demir saclı kare prizma imal edilmiştir. Aynı malzeme ile kare prizmanın tabanı kaynak edilip kapatılmıştır. 12 mm çapında bir delik matkap aleti kullanılarak, kare prizma tabanının ortası delinmiştir. Bu kare prizmanın tabanı ile cidarlarından ısı kaybı önlemek için hazırlanan gaz beton malzemeleri, birbirleriyle ince metal kelepçe ile birleştirilmiş ve sıkı geçirme yöntemi ile kare prizmanın içeresine yerleştirilmiştir. Kanallı fırın taşların yalıtım malzemesinin içerisine montajı ve ısı fırının ön kesiti Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kanallı fırın taşların yalıtım malzemesinin içerisine montajı

Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi kanallı fırın taşlarından oluşturulan ısı fırının bağlantıları, bir araya getirilmiş saç metal kelepçeler ile sağlanmıştır. Fırın taşların üzerindeki kanalların içinden rezistans telleri geçirilmiş ve elektrik bağlantısı yapılarak pota ısıtma durumuna getirilmiştir.



Şekil 2.3. Isıl fırının tam yanma durumu

Şekil 2.3’te görüldüğü gibi elektrik bağlantısı yapıldıktan sonra ısı fırınının tam yanma durumu gerçekleştirilmiştir. Bu ısı fırınının tasarımında zaman ve sıcaklık önemli bir role sahiptir. Bunun için termokupl denilen bir ısı sensörü kullanılmıştır.

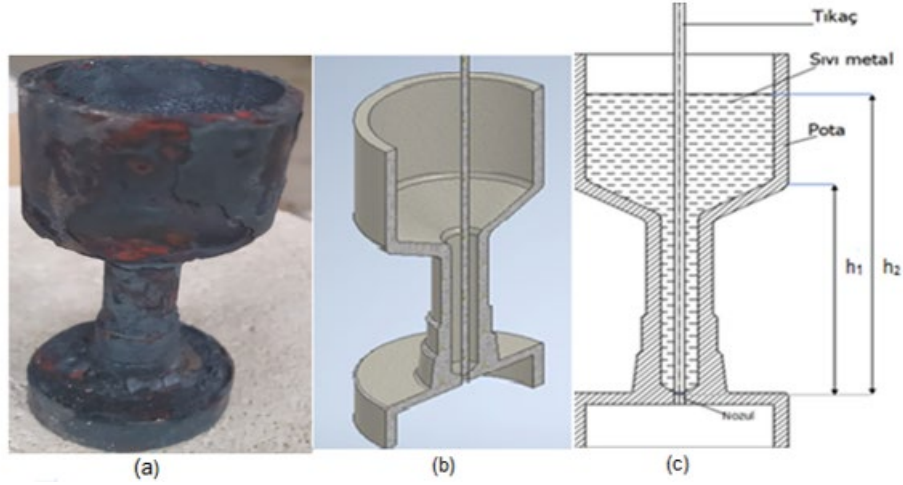
Bu prob 1-1200 °C sıcaklıkları ölçebilen hassasiyete sahiptir. Gazbeton, kapakta açılan bir delikten metal eriyinin bulunduğu potanın içine yerleştirilmiştir. Potanın içindeki ortam sıcaklığını kontrol etmek

amacıyla prob montajı yapılmıştır. Bu prop vasıtasıyla ortamda ölçülen sıcaklık değerleri dijital olarak cihaz üzerinde bulunan ekranda gösterilir.

2.2. Pota Tasarımı ve İmalatı

Şekil 2.4’ da teknik resmi ve imalatı verilen pota, 1500 °C sıcaklığa dayanıklı demir malzemenen imal edilmiştir. Potanın ısıya dayanıklılığı ve ısı geçişi yüksekliği nedeniyle demir malzemenen imal edilmiştir. Pota, çapı 50 mm ve uzunluğu 130 mm olan trans-demir malzemesinden üretilmiştir. Bu pota torna aynasına bağlanarak gerekli işlemler yapılmıştır. Bu işlemler ile potada iç çapı 40 mm ve 35 mm derinlikte bir silindirik oyuk açılmıştır. Bu silindirik oyuğun devamı konik gedik olarak açılmıştır.

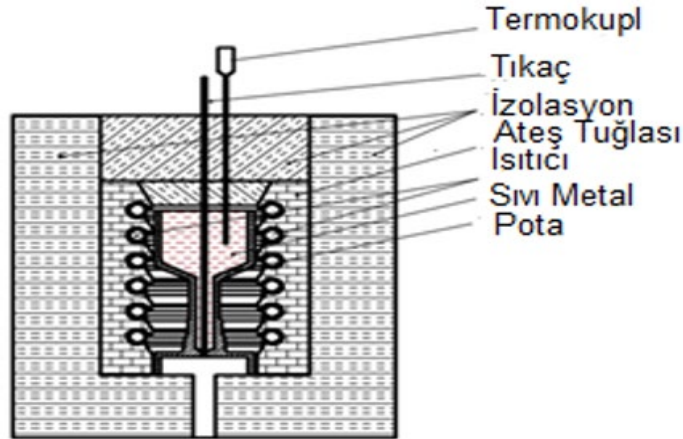
Bu konik gedik kısmını üst kısmın iç çapı 40 mm ve 35 mm derinlikte sürekli daraltarak alt kısmın iç 11 mm olana kadar yontulmuştur. Bu oyuğun dış çapı 15 mm, iç çapı 11mm, derinliği 45 mm ve oyuğun en alt kısmın merkezinde 1.5 mm ‘lik bir delik açılarak potadan eriyen metal sıvının potadan akması sağlanmıştır. Ucu sivriltilmiş bir tıkaç ile eriğin dışarıya akması önlenmiştir. Sıvı metal eriğin akma esnasındaki dinamik basıncını arttırmak için pota, mümkün olduğu kadar eriğin çıkış deliğinden yüksek tutulmuştur Ergime sıcaklığına ulaşıldığında tıkaç, manuel olarak yerinden çıkarılarak çıkış deliğinden eriğin akışı sağlanmıştır.



Şekil 2.4. Potanın, resmi(a), üç boyutlu (b) ve iki boyutlu(c) kesitleri

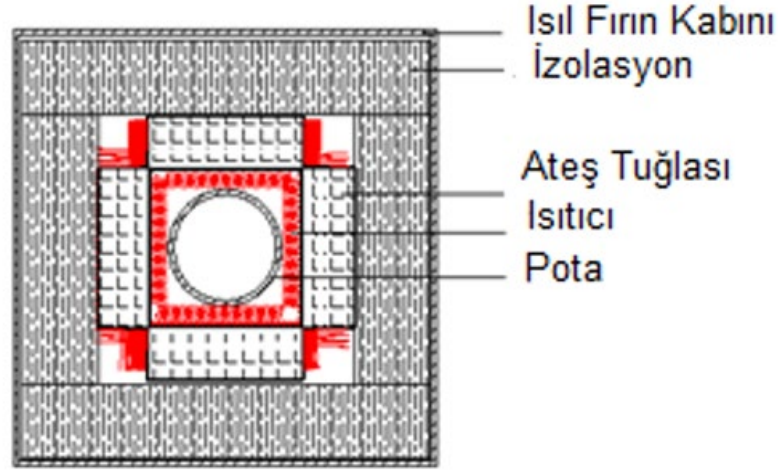
2.1.1 Isıtıcı Elemanın Tasarımı

Isıl firmı için bir ısıtıcı elemanın tasarımı Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterildiği gibi tasarımı yapılmıştır. Isıtıcı elemanın tasarımı limite giderken şartı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımın hedefi, seçilecek olan ısıtıcı elemanın çapını ve uzunluğu hesaplamaktır.



Şekil 2.5. Isıtıcı elemanın tasarımının ön görünüşü

Isıtıcı elemanın hesaplanmasında, kurulu elektrik güç (P) ve elektrik gerilimi (V), ısıtıcı elemanın sıcaklığı (T) ve ısıtıcı elemanın öz direnci (ρ) parametreleri kullanılmıştır. Bu hesap için elektrik direnci tarafında üretilen enerjinin tümünün ışınım ile olan ısı enerjisiye dönüştüğü kabul edilmiş ve bu yaklaşım ile hesap yapılmıştır. Bu çalışmada ısı direnç telin malzemesi olarak nikrom elektrik teli seçilmiştir. Bu tasarım hesabında kullanılan ısıtıcı direnç tel, sürekli hal sıcaklığına ulaştığında, elektrik kaynağının ürettiği elektrik güç miktarının tamamını ısı olarak yayar. Isıtıcı direnç telin sıcak yüzeyi tarafında yayılan ısı, ışınım ile yayılan ısıdır. Stefan-Boltzman denklemi 5 ile verilir [4].



Şekil 2.6. Isıl Fırın Kabininin Üst Görünüşü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Isıtıcının ürettiği elektrik güç = Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı
Isının ürettiği güç;

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Denklem -1 deki P (watt) elektrik, V (volt) elektrik gerilimi ve, R direnç (Ω .)
Isıtıcı elemanın direnci

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Burada, ρ ısıtıcı direnç telin öz direncidir ($\Omega.m$), (l) İletken uzunluğu (metre) ve (A) ısıtıcı elemanın kesit alanı (m^2) ve (d), Isıtıcı elemanın çapıdır (mm)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Denklem 1, denklem 2 ve denklem 3'ten yeni ısıtıcı elemanın güç eşitliği elde edilir.

$$P = \frac{\pi d^2 V^2}{4 \rho l} \quad (4)$$

Elde edilir.

Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı;

$$q_r = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma (T^4 - T_\infty^4) \quad (5)$$

Denklem 5, Stefan-Boltzman olarak bilinir. (q_r), ışınım ile olan ısı geçişi (W/m^2), (ε_1) Işınım (yayma) katsayısı, (ε_2) ısı ışınım geçirme katsayısı ve (σ) Stefan-Boltzman katsayısı.
Isıtıcı elemanın yanal alanı

$$A_{yanal} = \pi dl \quad (6)$$

Isıtıcının ürettiği elektrik güç = Isıtıcı yüzeyinde yayılan ısı

Denklem 4, denklem 5 ve denklem 6 'dan

$$\frac{d}{l^2} = \frac{4\rho q_r}{V^2} \quad (7)$$

elde edilir.

Bu ısıtıcı için seçilen nikrom tel direncin termofiziksel özellikleri:

ε_1 (Işınım (yayma) katsayısı) = 0.9

ε_2 (ısı ışınım geçirme katsayısı) = 0.6

ρ (ısıtıcı direnç telin öz direnci) = $1.016 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

σ (Stefan-Boltzman katsayısı) = $5.67 \times 10^{-8} (W/(m^2 \cdot K^4))$

T (Isıtıcı eleman sıcaklığı) = 1200°

T_∞ (Isıtıcı elemanın çevre sıcaklığı) = 25°

P (Isıtıcı elemanın elektrik gücü) = $2500W$

V (Isıtıcı elemanın elektrik gerilimi) = $220 volt$

Bu verilen değerleri kullanarak, denklem 4 ve denklem 7'in çözümünde ısıtıcı elemanını çap $d = 1mm$ ve uzunluğu $l = 17300mm$ bulunur. Çapı ve uzunluğu bulunan ısıtıcı elemanın

Çapı ($D=9mm$) bir trans demir çubuğa torna makinesi kullanarak spiral haline getirilmiştir [5].

Spiral sayısı(N);

$$N = l/(\pi/(D + d/2)) \quad (8)$$

Denklem 8'den sarım sayısı $N = 580$ bulunmuştur [6].

3.1. Potanın Hareket Yönünde Analiz Edilmesi

Pota tasarımında en önemli sorunlardan biri de potadaki akış sorunlarıdır. İmal edilen potanın 180 gr metal ergitilebilme kapasitesi vardır. Bu potadan hedeflenen en önemli nokta, ergitilme işlemi bitikten sonra en kısa zamanda potadaki eriyiğin tazyikli bir şekilde pota dışına akmasını sağlamaktır. Potada akışın hızlı akmasını engelleyen hususlar; potadaki akışın viskozitesi, pota yüzeyindeki pürüzlülük, yüzey gerilmesi, pota çapındaki ani daralmalar ve genişlemeler. Ani daralma ve genişleme sonucu potadaki akışa karşı ters basınç ve girdaplar oluşur [7]. Bu akış engelleyici özelliklerini azaltmak için potadaki eriyiğin sıcaklığı mümkün olduğu kadar yüksek tutulmuştur. Çünkü sıcaklığın akış viskozitesini ve yüzey gerilmesini oldukça azaltma özelliği vardır. Pota içindeki metal sıvını basıncını artırmak için, metal sıvını içinde bulunduğu potanın tavan ile tabanın yüksek farkı fazla tutulmuştur. Bu şekilde potanın çıkışındaki eriyiğin hızlı akması sağlanmış ve potanın çıkış delik çapı 1,5 mm açılarak eriyiğin daimî akışı sağlanmıştır. Potanın içindeki eriyiğin hızlı bir şekilde akması için pota düşey pozisyonda tutulmuştur. Potanın içindeki metal sıvının yükseklik farkı $h_1 - h_2$ dir. h_1 ile h_2 potanın içindeki metal sıvının çıkış noktasına olan alt ve üst yükseklikleridir. Burada, potadaki akış, tek yönlü kabul edilmiş ve düşey doğrultuda eriyiğin akması sağlanmıştır. Eriyiğin akış hızını bulmak için silindirik koordinatlarda yazılmış Navier-Stroks denklem sisteminden faydalanılmıştır. Bu denklem, Sıkıştırılmaz Navier-Stokes-z bileşeni [8].

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} (v_z) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z \quad (9)$$

Bu denklem 9 çözmek için bazı kabuller yapılarak ve sınır şartları uyguladıktan sonra

$$v_z(r) = - \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} r_1^2 \left(1 - \frac{r^2}{r_1^2} \right) \quad (10)$$

denklem 10 elde edilir.

Potanın basıncının yüksekliğe(z) göre değişimi

$$\frac{dp}{dz} = (\rho g_z) \quad (11)$$

$v_z(r)$,hız dağılımı bulunur. Buradaki, r_1 pota çıkış kesitinin herhangi bir yerin yarı çapıdır, r potanın çıkış yarıçapıdır.

Metal sıvının debisi (Q)

$$Q = \int v_z dA = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} (v_z(r))(r d\theta dr) \quad (12)$$

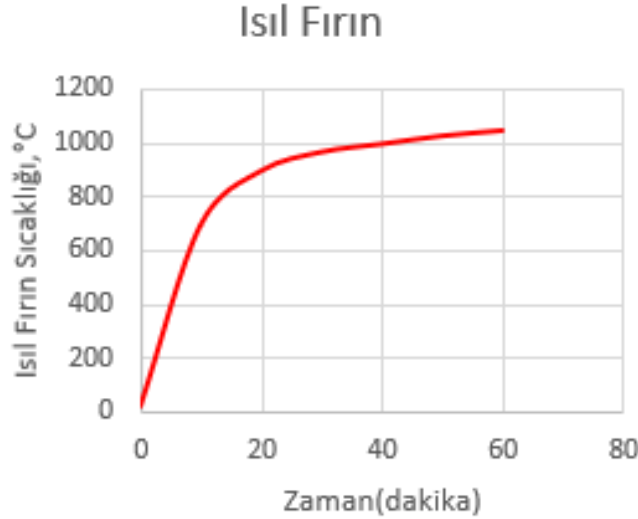
Denklem 17 ve Denklem 18 den

$$v_z(r) = -\rho \frac{\pi}{8\mu} g_z r_1^4 = v_{zo} \quad (13)$$

Denklem 12 ve denklem 13'den eriğin debisi bulunur ve v_{zo} potanın içindeki ortalama hız.
Metal sıvının debisi

$$Q = \pi r^2 v_{zo} \quad (14)$$

Isıl fırın, alüminyum ve kurşun eritilmesiyle test edildi. Karakteristik eğriler, yani ısıtma süresine karşı fırın sıcaklığı. Başlangıçta, fırın 180 gr. kurşun ile yüklenmiştir ve sıcaklıklar yükseldikçe, zaman ve sıcaklıklar sürekli olarak kaydedilmiş ve aralarında bir karakteristik eğri çizilerek Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu ısıl fırın, erime noktası 1200°C 'nin altına düşen herhangi bir metali eritmek için kullanılabilir. Tüm erimiş metaller havadaki oksijenle reaksiyona girdiğinde oksitler oluşturur. Bu nedenle, imal edilen fırın kullanılarak metallerin eritilmesi sırasında uygun önlemler, koruyucu bakım kullanılmalıdır.



Şekil 3.1. Isıl Fırını Sıcaklık Zaman Grafiği

İmal edilen fırında kurşun eritilerek, ısıtma süresine karşı fırın sıcaklığı test edilmiştir. Başlangıçta 180 gram kurşun potaya yüklenmiş ve sıcaklık yükseltilerek zamana karşı değişen sıcaklıklar sürekli olarak kaydedilmiştir. Elde edilen zaman sıcaklık değerlerinin karakteristik eğri şekil 3.1'de belirlenmiştir. Bu eğride görüldüğü gibi ısıl fırın 60 dakika çalıştırılmış Bu fırın, erime noktası 1200°C 'nin altına düşen herhangi bir metali eritmek için kullanılabilir. Isıl fırının sıcaklığının zamanla değişimi. Tüm erimiş metaller, havadaki oksijen ile reaksiyona girdiğinde oksitler oluşturur. Bu nedenle, imal edilen fırın kullanılarak metallerin eritilmesi sırasında uygun önlemler ve prosedürler kullanılmalıdır. Bu fırın 1200°C den düşük erime noktasına sahip metalleri eritmek için uygundur.

Sonuç olarak düşük erime noktasına sahip metallerin eritebildiği sonuncuna varılmıştır. Üretilen fırının maliyeti yaklaşık 5000 TL iken, ticari olarak temin edilebilen fırın maliyeti yaklaşık 30000 TL piyasada bulunan bir fırının maliyetinin yaklaşık %85'i kadardır. Fabrikasyonda üretilen ısıl fırının amacı karşılar ancak piyasada bulunan fırınlar gibi çekici görünmeyebilir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Kurşun, alüminyum ve alaşımlarını eritmek için düşük maliyetli bir metal eritme fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Fırın tasarımında hem mekanik hem de elektriksel parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Bu fırın ısıtması, Al, Zn, Pb gibi erime noktaları 1200°C 'den düşük olan metallerin ve bunların alaşımlarının

laboratuar ve araştırma amaçlı olarak küçük miktarlarda eritilmesi uygundur. Kurşun eritme için ısıtma testleri yapılmış ve karakteristik eğri çizilerek fırın ısıtma performansı analiz edilmiştir. Isıtma hızı, eritme hızı, 60 dakikada 1200°C'nin oldukça yakın bir sıcaklığa ulaşmıştır. Sonuçta imal edilmiş olan ısıtma fırını 1200°C derereye kadar termocouple ile ölçerek kayıt altına alınmış ve bu sıcaklığa kadar potada olumsuz bir durumla karşılaşmamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J. J. Dunkley, Advances in atomisation techniques for the formation of metal powders, *Advances in Powder Metallurgy*, Woodhead Publishing, 2013, 3-18, doi:10.1533/9780857098900.1.3.
- [2] A. Lawley, & H. A. Kuhn (Eds.), *Powder Metallurgy Processing: New Techniques and Analyses*, Academic Press Incorporated, 1978.
- [3] CRR EEE 4G2. (18 Eylül 2020), Methods of Electric Heating. [Video] <https://youtu.be/VMa9A-CRiOo> Erişim Tarihi (2 Aralık 2022)
- [4] A. Öztürk, & H. Yavuz, *Uygulamalarla ısı geçişi: Tanıtım ve ışınım*, Çağlayan Kitabevi, 1995.
- [5] Nikrom Tel Direnç Hesaplaması. (2022), <https://electrician-top.ru/tr/soldering-irons/section-of-nichrome-wire-calculation-of-the-electric->, Erişim Tarihi (2 Aralık 2022)
- [6] V. S., Meriga, A. D. Boyina, & C. Vandana, Design and fabrication of low-cost electrical resistance based metal melting furnace for casting applications. *Leonado Electric Journal of Practices and Technology*, 32, 41-54, 2018.
- [7] K. Edis, K. Haluk, *Akışkanlar Mekaniği Ders Notları İTÜ Yayınları*, Cilt:2, İstanbul, 1992.
- [8] F. M. White, & J. Majdalani, *Viscous fluid flow*, Vol. 3, pp. 433-434, New York: McGraw-Hill, 2006.