

Farklı Alümina Esaslı Taşıyıcı Tane Agregalarının Yüksek Alüminalı Dökülebilir Refrakterlerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkileri

Çetin Öztürk¹, Serhat Başpınar², Ziya Aslanoğlu³, Çetin Bağlan⁴

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Afyonkarahisar.

³ Süperateş Ateşe Mukavim Malzeme Sanayi A.Ş., Kalite Güvence ve Arge Müdürü, İstanbul.

⁴ Süperateş Ateşe Mukavim Malzeme Sanayi A.Ş., Arge Mühendisi, İstanbul.

e-posta: cetinozturk2001@gmail.com)

Geliş Tarihi:26.05.2014; Kabul Tarihi:06.09.2014

Özet

Bu çalışmada, tabular alümina (TA), beyaz ergimiş alümina (WFA) ve her ikisinin karışımı (%50 TA+ % 50 WFA) taşıyıcı tanelerin özellikle çelik pota endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yüksek alüminalı dökülebilir refrakterlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, yüksek alümina içerikli bu taşıyıcı tanelerin ve dökülebilir refrakter bileşimindeki diğer bileşenlerin tane boyut ve % miktarları Andreasen tane paketlenme modülüne göre n değeri ~0,30'u sağlayacak şekilde ayarlanarak hazırlanan numuneler 1530 °C'de hava ortamında 8 saat sinterlenmiş ve düşük çimentolu yüksek alüminalı dökülebilir refrakter numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde taşıyıcı tanelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklere olan etkileri standartlar dahilinde yapılan testler sonucunda belirlenmiştir. Karakterizasyon sonuçları incelendiğinde tabular alümina taşıyıcı tane içeren dökülebilir refrakterin beyaz ergimiş alümina ve her iki taşıyıcı tanenin eşit oranda karışımını içeren dökülebilir refrakter örnekleri ile özellikleri karşılaştırıldığında ham ve sinterlenmiş halde en düşük açık gözeneklilik ve su emme ile en yüksek birim hacim ağırlık ve soğukta basma mukavemeti değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Dökülebilir refrakter;
Alümina;
Agrega

The Effect of Various Alumina Based Agregates on Physical and Mechanical Properties of High Alumina Castable Refractory

Abstract

In this study, it was investigated effect of tabular alumina (TA), white fused alumina (WFA) and mixtures (%50 TA+ % 50 WFA) of them as agregas on physical and mechanical properties of high alumina castable refractory which especially use in steel ladle industries. For this aim, particle size fraction and amount of refractory constituent were determined depend on q values in Andreasen's model to be 0.30 and experimental samples from these mixtures were prepared by sintering at 1530 °C for 8 hours. Prepared samples from these compositions as green and sintered were subjected to physical and mechanical tests. Characterization results are analyzed, the castables with tabular alumina has lower porosity and water adsorption and also higher bulk density and cold compressive strength than those of white fused alumina and mixtures of them.

Keywords

Refractory castables;
Alumina;
Agrega

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dökülebilir refrakterler yüksek kalitede taşıyıcı taneler (refrakter agregaları), modifiye edici dolgu maddeleri, bağlayıcılar ve katkı maddeleri gerektiren, karmaşık refrakter formülasyonlardır (Sahu 2009). Refrakter agregaları dökülebilir

refrakterlerin temel iskeletini oluşturur ve reçetelerde miktar olarak en yüksek oranda bulunurlar. Çok çeşitli türlerde refrakter agregaları mevcuttur ve dökülebilir refrakterlerde istenilen kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikleri elde etmek için agregaların farklı şekillerde

kombinasyonuna göre bu özellikler elde edilebilir (Schacht 2004). Agregalar istenilen partikül boyutuna ulaşmak ve aynı zamanda istenilen paketlenme yoğunluğunu elde etmek için *farklı oranlarda* bileşimde beraber kullanılırlar. Buna ek olarak, dökülebilir tane boyut kompozisyonu maksimum paketlenme yoğunluğunu sağlayan bir paketlenme modeline uygun olarak tasarlanmalıdır (Martinovic *et al.* 2009).

Beyaz ergimiş alümina (WFA) ve Tabular alümina (TA) gibi sentetik alümina esaslı agregalar yüksek saflıkta alümina refrakterler için başlıca iki ana agregadır (Liu *et al.* 2007). WFA yüksek saflıkta (% 99 Al₂O₃) ergimiş alümina olup, yüksek refrakterlik, aşınma direnci ve kimyasal inertliğe sahiptir ancak bu agregadan üretilen ürünler oldukça gözenekli ve düşük birim hacim ağırlıklı ürünlerdir. TA ise yüksek kimyasal saflık (> %99 Al₂O₃) ve partikül yoğunluğu ile birlikte mükemmel hacimsel kararlılığa ve kimyasal inertliğe sahip agregalardır (Rout 2009). WFA ve TA üretimindeki proses farklılıkları (sinter vs füzyon) alümina refrakterlerin özellikleri ve performansı üzerinde bu agregaların etkilerinin farklı olmasına neden olmaktadır. TA, sürgü plakaları, Al₂O₃-MgO-C tuğlaları, dökülebilirler ve prekast ürünler gibi çelik üretim refrakterlerinde yaygın olarak kullanılan agregalardır. Bununla birlikte, WFA yaygın olarak çelik dışı uygulamalarındaki yüksek saflıkta alümina tuğlaları için agrega olarak kullanılır (Liu *et al.* 2007).

Tane paketlenmesinde agrega boşluklarını doldurmak ve genişleme kontrolü, kimyasal/mineraloji değişikliği, bağ gelişimi gibi diğer arzu edilen özellikleri sağlamak amacıyla refrakter *dolgu maddeleri ve/veya modifiye ediciler* dökülebilir bileşimine ilave edilirler (Schacht 2004).

Dökülebilir refrakterler için pek çok farklı *bağlayıcı* sistemler geliştirilmiştir (Andreev *et al.* 2009), ancak günümüzde uygun çalışabilirlik, kalıba yerleşme ve kalıptan ayrılma süreleri ile sinterleme öncesi ilk sertleşme ve sinterleme sonrası mekanik dayanım ve korozyon direnci özellikleri sağlaması nedeniyle en yaygın kullanılan *hidrolik bağlayıcı*

kalsiyum alüminat çimentosudur (Braulio *et al.* 2009). Geleneksel dökülebilir refrakterler alüminalı hidrolik çimento ile bağlı agregalardan oluşur. Bunlar, yaklaşık olarak % 15-30 kalsiyum alüminat çimentosu içerir (Sahu 2009). Kalsiyum alüminat çimentosu, son on yılda dökülebilir refrakterlerde ana bağlayıcı madde olmasına rağmen, matris yapısında yer alan CaO'nun silika ile reaksiyonu yüksek sıcaklık özelliklerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Bu nedenle çimentosuz dökülebilir refrakterler için başlıca MgO-SiO₂, Al₂O₃-SiO₂ ve MgO-Al₂O₃ gibi seramik esaslı bağlayıcı sistemler geliştirilmiş ve bu sistemlerde mullit ve spinel gibi refrakter bileşiklerin oluşumuyla uygun yüksek sıcaklık özellikleri elde edilmiştir (Abou *et al.* 2011).

Dökülebilir refrakter harmanını tamamlayabilmek için çeşitli tipte ilaveler ve karışımlar kullanılır. Bunlar dökülebilirin akış/reoloji özelliklerine, karakteristiklerine, priz alma süresine (geciktirme veya hızlandırma), döküm için gerekli olan su miktarını azaltmaya, çimentonun pH'nı kararlı hale getirmeye ve kontrol etmeye yardım etmektedir (Schacht 2004).

Dökülebilir refrakterlerde en önemli karakteristikler; partikül boyut dağılımı, priz alma, ısıtma ve su verme sırasında dayanım değişimi ve bağ sistemidir. Partikül tane boyutu akabilirliği ve çalışabilirliği kontrol etmektedir. Bağ sistemi ise yüksek sıcaklık özelliklerini belirler (Schacht 2004).

Partikül boyut dağılımı dökülebilir refrakterler için çok önemlidir. Çünkü partikül boyut dağılımı dökülebilir refrakterlerin vibrasyonla dökülebilir mi yoksa kendi kendine dökülebilir mi olduğunu belirler. Ayrıca gözeneklilik ve por boyut dağılımını da belirler. Dökülebilir refrakterlerin ana yapısı iri taneli agrega içeriğinden etkilenmektedir. İri taneler arasındaki boşluklar ince, çok ince ve çimento tanelerinden oluşan viskoz bir sıvı ile dolmaktadır. Burada çimento bağlayıcı görevini taşır ve sertleşme sonrası dökülebilir ürünlerin katı faza geçmesini sağlar. Aynı zamanda ince taneli yapısı ile de paketlenme açısından önem

taşımaktadır. Maksimum partikül paketlenmesi durumunda viskozite minimuma düşecektir. Maksimum paketlenme geniş tane boyut dağılımları ile sağlanabilir. Öte yandan paketlenmenin maksimum olması durumunda taneler arası temas artacağından yeterli akış özelliklerine ulaşmak için sistem dıştan mekanik bir etkiye ihtiyaç duyabilir. Bunun nedeni ince tanelerin irilerin arasını doldurarak yoğun bir yapıya ulaşması ve tanelerin birbiri üzerindeki hareketinin sınırlanmasıdır. İri tanelerin miktarı böyle bir sistemdeki akış özelliklerini belirleyen önemli parametrelerden biridir. İri tane oranının azalmasıyla akış özellikleri gelişecektir (Mhyre 1994).

Paketlenme için birçok yaklaşım kullanılmıştır. Fakat teorisi Andreasen ve Funk-Dinger tarafından önerilen tanımlar yaygın kabul görmüştür. Andreasen ideal paketlenme şartlarını Eşitlik 1'de tanımlanmıştır (Başpınar 2005).

$$CPFT = (D/DL)^n * 100 \quad (1)$$

CPFT = D' den daha ince olan tanelerin kümülatif %

D = tane boyutu

DL = karışımdaki maksimum tane boyutu

n = tane boyut dağılım modülü

Refrakterlerde reçete harmanını oluşturan bileşenlerin *tane boyut dağılımı* sinterleme sonrasında yoğunluğu etkileyen önemli bir faktördür. Yoğunluğu yüksek refrakter numuneler ancak *yüksek paketlenme yoğunluğu* ile elde edilir. (Gogtas 2012).

Tane paketlenme faktörünün (n) etkisi, vibrasyonla dökülebilir refrakterlerde oldukça önemlidir. Andreasen tarafından geliştirilen tane paketlenme modeline göre, tanelerin paketlenme faktörü (n) 0,25 değerinin altında olduğunda kendiliğinden akıcılık özelliği elde edilirken bu değer 0,30 dolayında olması ile titreşimle dökülebilirlik özelliği elde edilir. Maksimum tane paketlenme yoğunluğu Andreasen tane paketlenme modelinde n'nin 0.37

civarında olması ile sağlanır (Gogtas 2012).

Bu çalışmada, alümina esaslı farklı taşıyıcı taneler ve diğer temel bileşenlerin tane boyut ve %'de miktarları Andreasen tane paketlenme modülüne göre n değeri ~0,30'u sağlayacak şekilde ayarlanarak hazırlanan numuneler sinterlenmiş ve düşük çimentolu yüksek alüminalı vibrasyonla dökülebilir refrakter numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde taşıyıcı tanelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklere olan etkileri standartlar dahilinde yapılan testler sonucunda belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çelik pota endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yüksek alüminalı düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla tabular alümina (TA), beyaz ergimiş alümina (WFA) ve ikisinin eşit oranda karışımı (%50WFA+%50TA) olmak üzere üç farklı tip taşıyıcı tane kullanılmıştır. Taşıyıcı taneler ve bunların arasında bağ oluşturmak için kullanılan kalsine alumina (KA), mikro silika (MS), taşıyıcı tane tozları ve kalsiyum alüminat çimento karışımları ile katkı maddeleri Andreasen tane paketlenme modülüne göre n değeri ~0,30'u sağlayacak şekilde tane boyutları ve bileşimdeki % miktarları belirlenerek deney reçetesi oluşturulmuştur (Tablo 1).

Tablo1. Deneysel çalışmalarda kullanılan reçete

Bileşen	Hammaddeler	Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)
Taşıyıcı Tane	WFA, TA, (%50WFA+%50TA)	3-5	22
		1-3	32
		0-1	10
Bağlayıcı Matris	Taşıyıcı tane tozları	0-0,1	18
	KA		9
	971-U MS		3
	Secar 712 CAC		6
Katkılar	STPP	-	0,25
	PP		0,025
	Su		6 max.

Reçetede kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşimleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Reçetede kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşimleri*.

Hammadde (%)	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	SiC	C
WFA	0.60	98.74	0.23	0.25	0.18	-	-
TA	0.83	98.53	0.17	0.27	0.23	-	-
KA	0.30	99.26	0.22	0.10	0.12	-	-
Secar 712 CAC	0.15	71.78	0.31	0.26	27.5	-	-
971-U MS	0.10	0.40	97.5	0.10	0.20	-	0.50
MA-Spinel	33.8	65.1	0.30	0.30	0.50	-	-
SiC	-	-	-	-	-	96.2	0.56

*Tüm veriler firmaların katalog ve kalite sertifika analizleridir.

Dökülebilir refrakterden servis şartlarında istenen özelliklerinin elde edilmesi için bütün bileşenlerinin homojen bir şekilde karışmış olması çok önemlidir. Bu nedenle taşıyıcı tanelerin bağlayıcı fazı oluşturan hammaddelerle daha iyi karışmasını sağlamak amacıyla etkili bir karıştırma yöntemi kullanılarak karıştırılmıştır ve bu sayede başlangıç tozlarının birbirine olan iribatlarının en yüksek seviyede olması sağlanmıştır.

Döküme hazır hale gelen düşük çimentolu dökülebilir refrakter harcı, ASTM C830-93 göre 50x50x50mm boyutlarında hazırlanmış ve 3000 devir/dakika titreşim hızına sahip olan masaya sabitlenmiş metal kalıba şarj edilmiş ve kalıplara 4 dakika süreyle titreşim (vibrasyon) uygulanmıştır.

Döküm sonrası kalıplar, oda sıcaklığında 1 gün bekletilmesi ile harcın katılarak betonlaşması sağlanmıştır. Betonlaşan numuneler Venticel marka etüv içinde 110 °C’ de 24 saat bekletilerek sinterleme hazır hale getirilmiştir. Şekillendirilen ham ürünler Form csl 17-18p marka fırında 1530 °C’de, 5 °C/dakika ısıtma hızı ile ve maksimum sıcaklıkta 8 saat bekletmek suretiyle sinterlenmiştir.

3 farklı taşıyıcı tane içeren Tablo 1’deki reçeteye göre hazırlanan deney numunelerine sinterleme

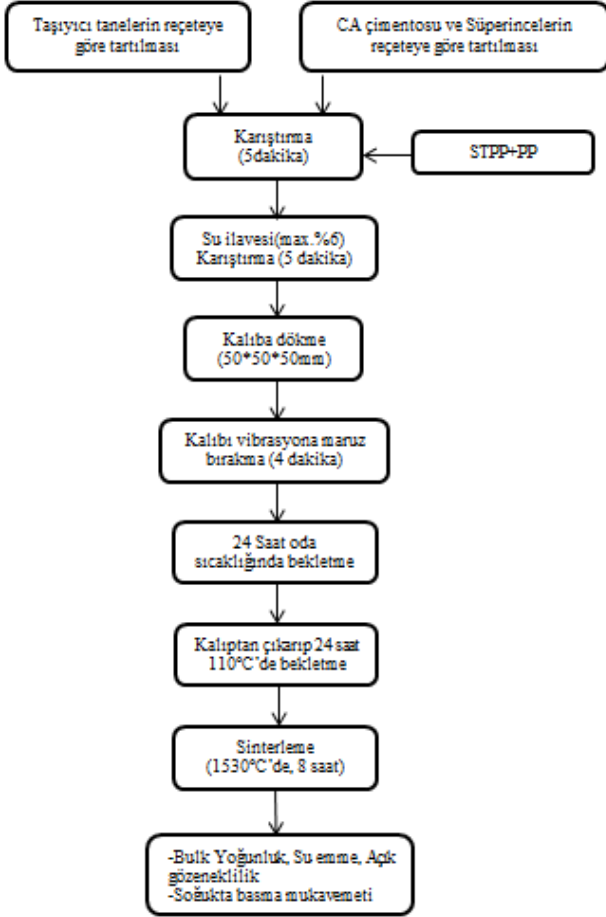
öncesi ve sonrasında; açık gözeneklilik, su emme ve birim hacim ağırlık tayini gibi fiziksel testler ile soğukta basma mukavemeti gibi mekanik testler yapılmıştır.

Deney numunelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek için 110 °C’de kurutulan ve 1530 °C’de sinterlenen deney numunelerine açık gözeneklilik, su emme ve birim hacim ağırlık testleri için bir kenarı 50 mm uzunluğunda küp şeklindeki numunelerden parçalar alınarak DIN 51056 (ISO EN 993-1) normuna uygun deneyler gerçekleştirilmiştir.

110 °C’de kurutulan ve 1530°C’de sinterlenen deney numunelerinin basma mukavemetleri 200 tonluk Utest marka otomatik basma cihazında oda sıcaklığında DIN 51067 (ISO ENV 1402-6) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel ve mekanik testler için her numune grubundan en az 4 adet numune test edilerek ortalaması alınmıştır. Söz konusu testler sonucunda elde edilen bulguların literatür bulguları ile karşılaştırılması sonucu taşıyıcı tanelerin yüksek alüminalı dökülebilir refrakterlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

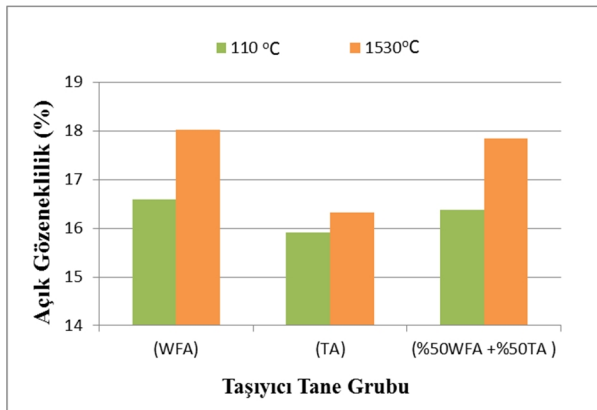
Şekil 1’de deneysel çalışmaların akım şeması verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalar akım şeması

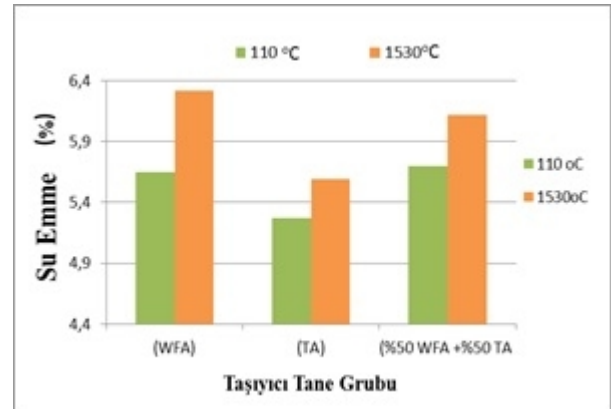
3. Bulgular

Farklı taşıyıcı tanelerle oluşturulan reçetelerden hazırlanan numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası üzerinde yapılan açık gözeneklilik, su emme ve birim hacim ağırlığı gibi fiziksel testlerin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Taşıyıcı tane deney gruplarının 110°C ve 1530°C'deki %'de açık gözeneklilikleri

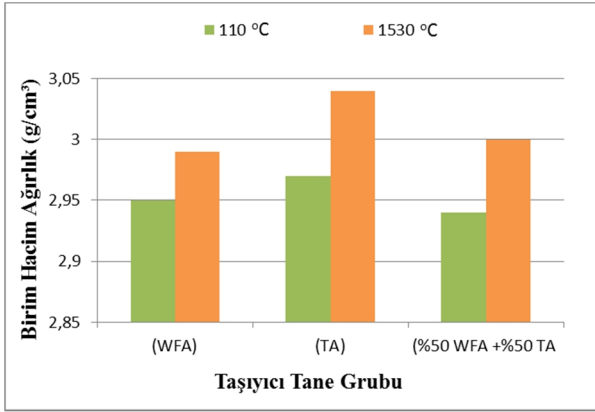
3 farklı alümina esaslı taşıyıcı tane içeren deney numunelerinin 110 °C'de kurutma işlemi sonrası açık gözeneklilik değerlerinin % 15,92-16,60 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sinterleme işlemi öncesi ham halde en düşük açık gözeneklilik değeri tabular alümina agrega içeren deney numunelerinde ve en yüksek açık gözeneklilik değeri ise beyaz ergimiş alümina agrega içeren deney numunelerinde elde edilmiştir. Sinterlenmiş numunelerin açık gözeneklilik değerlerinin ise % 16,32-19,02 arasında değiştiği ve ham haldeki açık gözeneklilik değerlerinde olduğu gibi yine en düşük değer tabular alümina agregalı, en yüksek değer ise beyaz ergimiş alümina agregalı deney numunelerinde elde edilmiştir. Bu durum tabular alüminanın beyaz ergimiş alüminaya nazaran daha az gözenekli yapıda olmasıyla izah edilebilir. Diğer taraftan sinterlenmiş haldeki açık gözeneklilik değerlerinin ham haldeki değerlerle mukayese edildiğinde daha yüksek olması sinterlemenin yeterince gerçekleşmediğini göstermektedir.



Şekil 3. Taşıyıcı tane deney gruplarının 110°C ve 1530°C'deki %'de su emme değerleri

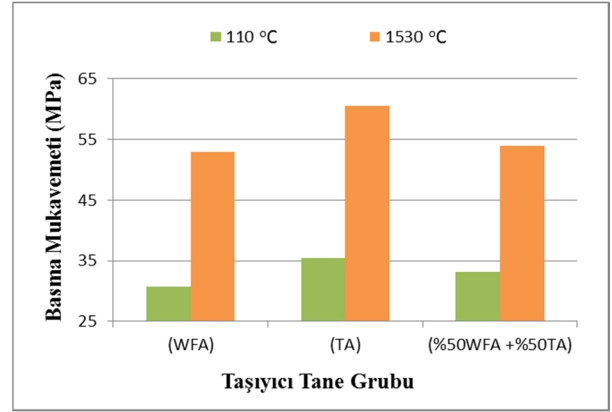
Farklı taşıyıcı tane içeren deney numunelerinin 110 °C'de kurutma işlemi sonrası ham halde su emme değerlerinin % 5,27-5,70 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ham haldeki en düşük su emme değeri tabular alüminalı deney numunelerinde ve en yüksek su emme değeri ise beyaz ergimiş alüminalı deney numunelerinde elde edilmiştir. Sinterlenmiş numunelerin su emme değerlerinin ise % 5,59-6,32 arasında değiştiği ve ham haldeki su emme değerlerinde olduğu gibi yine en düşük değer tabular alümina agregalı, en yüksek değer ise beyaz ergimiş alümina agregalı deney numunelerinde elde edilmiştir. Açık gözeneklilik test bulgularında olduğu gibi bu durum tabular alüminanın beyaz ergimiş alüminaya nazaran daha az gözenekli

yapıda olmasıyla izah edilebilir. Bünyelerin su emmesinin yapılarındaki açık gözenekliliğe bağlı olarak gerçekleşmesi nedeniyle % açık gözeneklilik ve su emme test sonuçlarının benzer karakteristikte olması beklenen bir durumdur. Diğer taraftan, ham bünyenin sinterleme prosesi esnasında sık yapı ve yüksek mukavemete ulaştırılması işlemi olarak tanımlanan sinterlemede minimum gözeneklilik ulaşılabilecek teorik son durum olsa da bu çalışmada sinterlenmiş bünyelerin gözenekliliğinin ham bünyelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun çalışmada belirlenen sinterleme sıcaklığının yeterli olmamasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4. Taşıyıcı tane deney gruplarının 110°C ve 1530°C'deki birim hacim ağırlıkları

Alümina esaslı 3 farklı taşıyıcı tane içeren deney numunelerinin 110 °C'de kurutma işlemi sonrası birim hacim ağırlık değerlerinin 2,94-2,97 g/cm³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sinterleme işlemi öncesi ham halde en yüksek birim hacim ağırlık değeri tabular alümina agrega içerikli deney numunelerinde elde edilmiştir. Sinterlenmiş numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinin ise 2,96-3,08 g/cm³ arasında değiştiği ve ham haldeki birim hacim ağırlık değerlerinde olduğu gibi yine en yüksek değer tabular alümina agrega içerikli deney numunelerinde elde edilmiştir. Tabular alüminanın beyaz ergimiş alüminaya göre daha yüksek birim hacim ağırlığına sahip olması bu agregadan üretilen refrakter numunelerin birim hacim ağırlıklarının da yüksek olmasına neden olduğu görülmüştür. Sinterlenmiş haldeki birim hacim ağırlık değerlerinin ham haldekine göre daha yüksek olması her ne kadar açık gözeneklilik değerleri yüksek olsa da sinterleme ile toplam gözenekliliğin azaldığı düşüncesi ile açıklanabilir.



Şekil 5. Taşıyıcı tane deney gruplarının 110°C ve 1530°C'deki soğukta basma mukavemetleri.

Tabular alumina, beyaz ergimiş alümina ve her ikisinin karışımı taşıyıcı tanelerin yer aldığı dökülebilir refrakter numunelerin ham ve sinterlenmiş haldeki soğukta basma mukavemeti test sonuçları incelendiğinde; ham haldeki mukavemet değerlerinin 30,78-35,45 MPa, sinterlenmiş haldeki mukavemet değerlerinin ise 52,82-60,50 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ham ve sinterlenmiş halde en yüksek mukavemet değerlerinin tabular alümina içeren deney numunelerinde en düşük mukavemet değerlerinin ise beyaz ergimiş alümina içeren deney numunelerinde elde edildiği görülmüştür. Birim hacim ağırlık değerlerinin mukavemet değerleri ile örtüşmesi yapıdaki toplam gözeneklilik miktarının azalması nedeniyle ham haldekine göre sinterleme sonrası daha iyi sonuçların elde edildiği düşünülmüştür.

3 farklı alümina esaslı agrega tipi ile hazırlanmış, tane paketleme modülleri $n=0,30$ olan ve 1530 °C'de sinterlenmiş numunelere yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda en iyi değerlerin 3,08 gr/cm³ birim hacim ağırlık, % 16,32 açık gözeneklilik ve 60,5 MPa soğukta basma mukavemeti değerleri olarak tabular alümina taşıyıcı taneli deney numunelerinde elde edilmiştir. Literatürde benzer konuda yapılmış bir çalışmada (Liu 2007) aynı agregalar kullanılarak hazırlanan ve 1750 °C'de 8 saat sinterleme ile elde edilen refrakter tuğlaların karakterizasyonu sonuçları incelenmiştir. Bu çalışmada en iyi değerler 3,26 gr/cm³ birim hacim ağırlık, % 14 açık gözeneklilik ve 145 MPa soğukta basma mukavemeti değerleri olarak tabular

alümina taşıyıcı taneli deney numunelerinde elde edilmiştir. İlgili literatürdeki çalışmada da tabular alümina taşıyıcı tanenin daha iyi sonuçlar vermesi yanı sıra özellikle mukavemet değerinin bu çalışmadakine göre çok yüksek değerde olması farklı sinterleme sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmalar sonucunda farklı alümina esaslı agregaların yüksek alüminalı dökülebilir refrakterlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerinde farklı etkilere sahip olduğuna dair bulgular elde edilmiştir.

Alümina esaslı agregaların fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklerindeki farklılıkların dökülebilir refrakter özellikleri üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür. Literatür bulgularından anlaşılacağı üzere tabular alüminanın beyaz ergimiş alüminaya göre daha düşük açık gözenekliliğe ve yüksek birim hacim ağırlığa sahip olması tabular alüminadan üretilen deney numunelerinin açık gözeneklilik ve su emme değerlerinin beyaz ergimiş alüminadan üretilen deney numunelerine göre daha düşük ve birim hacim ağırlıklarının ise daha yüksek olmasının temel nedeni olarak açıklanabilir.

Tabular alüminanın yüksek alüminalı dökülebilir refrakterin soğukta basma mukavemeti üzerinde beyaz ergimiş alüminaya göre daha olumlu etkiye sahip olması yukarıda da ifade edildiği üzere tabular alüminanın düşük açık gözeneklilik ve yüksek birim hacim ağırlık değerlerine sahip olması nedeni ile izah edilebilir. Buna ilaveten sinterlemede tabular alüminanın beyaz ergimiş alüminaya nazaran daha reaktif olması ve bunun sonucu olarak daha sık bir yapının elde edildiği de düşünülebilir.

Sinterlenmiş haldeki dökülebilir refrakter özelliklerinden açık gözeneklilik ve su emme değerlerinin beklentilerin dışında ham haldeki refrakter numunelerin değerlerden yüksek olması

çalışmada belirlenen sinterleme sıcaklığının yetersiz olmasından kaynaklandığı ve optimum değerlerin eldesi için sinterleme sıcaklığının artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu proje 12.FEN.BİL.20 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Başkanlığı (B.A.P.) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Sahu, K.M., 2009. Study of erosion resistance of ulcc based precast with indigenous high alumina cement. *Rourkela National Institute of Technology, Department of Ceramic Engineering, Master of Technology Thesis*, 2-8.
- Schacht, C. A., 2004. Refractories handbook. *Schacht Consulting Services, Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A.*, 259-287.
- Martinovic, S., Majstrovic, J., Vidojkovic, V. and Husovic, V.T., 2009. Preparation and properties of low cement castable sintered at different temperatures. *Processing and Application of Ceramics*, **4**: 191–196.
- Liu, X., Yanqing, X., Keming, G., Buhr, A. and Büchel, G., 2007. Tabular alumina for high purity corundum brick. *Almatis Technical Papers*.
- Rout, R.R., 2009. Studies on the effect of alumina aggregates on the performances of alumina-carbon refractories. *National Institute of Technology Rourkela, M.Tech Thesis*, 4.
- Andreev, K., Sinnema, S. and Hogenboom, M., 2009. Investigation of refractory concrete failure in furnaces of metals industry. *Ceramics Research Centre, Corus RD&T, The Netherlands*, 1-8.
- Braulio, M.A.L., Bittencourt, L.R.M. and Pandolfelli, V.C., 2009. Selection of binders for in situ spinel refractory castables. *Journal of the European Ceramic Society*, **29**: 2727–2735.
- Abou-Sekkina, M.M., Abo-El-Enein, S.A., Khalil, N.M. and Shalma, O.A., 2011. Phase composition of bauxite-based refractory castables. *Ceramics International*, **37**: 411–418.
- Myhre, B., 1994. Strength development of bauxite-based ultralow-cement castables, *Am. Ceram. Soc. Bull.* Vol.73, 5: 68–73.

- Başpınar, M. S., 2005. Mullit refrakterlerde bağlayıcı fazın optimizasyonu. *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 24-42.
- Gogtas, C., 2012. Development of nano-ZrO₂ reinforced self-flowing low and ultra low cement refractory castables. *The University of Wisconsin-Milwaukee, Ph.D. Thesis*, 18-38.
- Liu, X., Yanqing, X., Keming, G., Buhr, A. and Büchel, G., 2007. Tabular alumina for high purity corundum brick. *Almatis Technical Papers*.