

Yüksek Fırın Kanallarında Kendiliğinden Akıcı Boksit Esaslı Dökülebilirlerin Geliştirilmesi

Development of Self-Flowing Bauxite-Based Castables in Blast Furnace Troughs

Doç. Dr. Akın **Altun**

DEÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İzmir

Prof. Dr. Wolfgang **Schulle**

Freiberg Teknik Üniversitesi, Seramik Müh. Bölümü, Freiberg, Almanya

Assoc. Prof. Dr. Akın **Altun**

DEU, Metallurgy and Materials Engineering Department, İzmir

Prof. Dr. Wolfgang **Schulle**

Freiberg Technical University Ceramics Engineering Department, Freiberg, Germany

ÖZET

Yüksek fırın kanallarındaki refrakterlerin üretimi amacıyla sinter boksit, SiC, kalsine alümina, reaktif alümina, CA-çimentosu ve mikro silika içeren örnekler elde edilmiştir. 110 °C, 1000 °C ve 1500 °C de ısı işlem gören deney örneklerine fiziksel ve mekaniksel testler uygulanmıştır. Örneklerin malzeme özellikleri literatür verileri ile karşılaştırıldığında mekaniksel değerlerin iyi olduğu saptanmıştır. Termalşok dayanımı ve korozyon direnci testlerinden olumlu sonuçlar alınmıştır. Taramalı elektron mikroskopunda görülen müllit fazının oluşumu, X ışını difraksiyonu analizi ile de desteklenmiştir.

ABSTRACT

Samples were produced from sinter bauxite, SiC, calcined alumina, reactive alumina, CA-cement and micro silica, to produce refractories for blast furnace troughs. Physical and mechanical tests were conducted on samples heat treated at 110 °C, 1000 °C, 1500 °C. Comparison of the results from experiments to literature shows that, the obtained mechanical properties are suitable. Newly formed mullite phase was observed by scanning electron microscopy and the observation is supported by X ray diffraction technique.

1. INTRODUCTION

Self-flowing castables must have specific rheological properties and fluid behavior for easy operatability. Grain size distribution plays a significant role in these properties and behavior [1-4]. These types of new castables are produced as molten corundum, sinter oxide, SiC [5], andalusite, etc. based, depending on place of application (Iron-steel, cement, refuse incineration plants). Development of basic (MgO) based self-flowing castables is also being researched [6,8]. Currently, mostly Al₂O₃ based castables are being used in the world in blast furnace troughs.

ABSTRACT

Samples were produced from sinter bauxite, SiC, calcined alumina, reactive alumina, CA-cement and micro silica, to produce refractories for blast furnace throughs. Physical and mechanical tests were conducted on samples heat treated at 110°C, 1000°C, 1500 °C. Comparison of the results from experiments to literature shows that, the obtained mechanical properties are suitable. Newly formed mullite phase was observed by scanning electron microscopy and the observation is supported by X ray diffraction technique.

1.GİRİŞ

Demir-Çelik sektöründe refrakter malzeme, enerji ve personel masraflarını azaltmak ve iş korunması için yeni tip refrakterler ve yeni örme teknikleri geliştirilmiştir.

Kismen farklılıklarla beraber bir demir-çelik fabrikasında tüketilen refrakterlerin bölgelere göre dağılımları Tablo 1 de verilmiştir. Buna göre yüksek fırın kanal bölgelerinde kullanılan refrakterler önemli bir payı oluşturmaktadır. Eskiden yüksek fırın kanalları şamot yada killi kum, kil, kok ve katran veya sudan oluşan dövme harçlar kullanılıyordu. Bu ürün tipi bugün hala küçük yüksek fırın tiplerinde kullanılmaktadır. Daha sonra daha büyük yüksek fırınların kullanımı sonucu döküm tekniğindeki ve kanalların konstrüksiyonundaki gelişmeler, refrakter malzemelerin tiplerinin ve uygulama tekniklerinin de (döküm, vibrasyon) değişimlerini de beraberinde getirmiştir. Püskürtme yöntemi tamir için, blok yapı tarzı ise devirmeli kanallarda kullanılır. Bugün ise gerek kolay uygulanışı ve gerekse daha uzun ömürlü oluşu ve kompleks zor

şekilli malzemelerde, daha ekonomik ve üstün termo mekanik özelliklerinden dolayı kendiliğinden akıcı dökülebilirler (self-flowing castable) geliştirilmiştir.

Kendiğinden akıcı dökülebilirlerin kolay çalışabilirliği için belirli reolojik özelliklere ve akışkan davranışlara sahip olmaları gerekir. Bu özellikler ve davranışlarda tane boyutu dağılımı önemli rol oynar [1-4]. Bu yeni tip dökülebilirler kullanım yerine göre (demir-çelik, çimento, çöp yakma tesisleri) ergimiş korund, sinter boksit, SiC [5], andaluzit v.d. esaslı olarak üretilir. Bazik (MgO) esaslı kendiliğinden akıcı dökülebilirlerin de geliştirilmesi araştırılmaktadır [6,8]. Yüksek fırın kanallarında bugün dünyada çoğunlukla Al₂O₃ esaslı dökülebilirler kullanılmaktadır.

Ayrıca bağlayıcı matris olarak

Tablo 1. Bir Demir-Çelik fabrikasındaki refrakterlerin tüketim değerleri [12]
Table 1. Consumption figures for refractories in an iron-steel plant [12]

	Kullanım bölgesi Place of application	Refrakter tüketimi kg/t çelik Refractory consumption kg/t steel
Ham demir üretimi Pig iron production	Döküm deliği- Casting hole Kanallar - Troughs Diğer bölgeler - Other areas	0.68 1.04 0.71
Çelik üretimi Steel production	Torpedo potası- Torpedo ladle Konverter - Converter Çelik potaları - Steel pots Döküm - Casting Diğer bölgeler - Other areas	0.99 2.34 3.11 0.93 9.48
Devam çalışmaları Following operations	Haddehaneler ve diğerleri Rolling mills and others	0.48
	Toplam Refrakter Tüketimi Total Refractory Consumption	12.22

çok ince boyutlarında kalsine alümina, reaktif alümina, ateş çimentosu, silika tozu, C-katkısı ve dağıtıcı maddeleri katılır. Bu maddelerin tane boyutu dağılımlarının çalışabilirliğe önemli etkisi vardır [7-10]. Kalsine alüminanın, spesifik yüzey alanı, su gereksiniminde; tane yapısı, boyut dağılımı ve yüzey aktivitesi akışkanlıkta; tane boyutu, matriksin yoğunluğunda; kristal büyüklüğü, yüksek sıcaklıklardaki mukavemetlerde; çözülebilen alkalilerin miktarı su miktarında, donma süresinde ve yüksek sıcaklık özelliklerinde önemli derecede rolü vardır [11,13]. Temel olarak dökülebilirlerin minimum su miktarıyla yeterli akışkanlığa sahip olması gerekir. Dökülebilir su ile karıştırıldığında taneler arası ayrışma oluşmaması ve yapı, mümkün olduğunca yüksek mukavemet göstermelidir. Bu koşulları sağlamak ve dökümle şekil alan yapıda

mukavemetin oluşması ve düşük viskozite için kalsiyum alüminat çimentosu (CA) bağlayıcı olarak kullanılır. Suda çözülebilen katkı maddeleriyle çalışabilirlik ve sertleşme süresi arzu edilen derecede ayarlanabilir [14,15]. Çok az ya da hiç çimentosuz dökülebilirler de geliştirilmiştir [16,17]. Disperge-koagülasyon tekniğinin süper ince tozlar üzerinde kullanılmasıyla su miktarı oldukça fazla azaltılmıştır. [1,18,19] Böylece çok kalsiyum alüminat çimentosu içeren dökülebilirlerin yerini az çimentolu dökülebilirler geliştirilmiştir. Az çimento az su gerektirir. Az su yüksek yoğunluk, düşük porozite oluşturur, bunun sonucu da yüksek mukavemettir. Toz halinde amorf silikanın kullanımı üzerine farklı görüşler vardır [20,21]. Silika tozu uçucu kül ile birlikte portland çimentosunda katkı maddesi olarak kullanılır ve CaO ile hidroter-

mal reaksiyona girerek tobermorit oluşturur. Mekanizma tam olarak açıklanmamış olsa bile SiO₂ tozu, CA ve çok ince alümina ile reaksiyona girerek aynı tarzda yüksek mukavemete neden olur [23]. SiO₂ tozunun hiçbir avantajının olmadığını savunan görüşler de vardır [24]. C-katkısı ile iletkenlik özelliğinden dolayı korozyon direnci artırılır. SiC dökülebilirle yüksek refrakterlik ve termal şok dayanımı ile yüksek aşınma direnci kazandırır.

Yüksek fırın kanalları refrakter malzemelerin önemli özellikleri [12,23]

- 1500 °C civarında cürufların ve ham demirin kimyasal ataklarına karşı dayanımı (korozyon)
- Akan ham demir ve cüruflara karşı aşınma dayanımı
- Yüksek sıcaklıklarda hacimsel kararlılık (ya da düşük termal genleşme)
- C ve SiC katkılı malzemelerde

In addition, very fine calcined alumina, reactive alumina, refractory cement, micro silica, C-additive and dispersants are used as bonding matrix. The grain size distribution of these materials have a significant impact on workability [7-10]. Specific surface area calcined alumina plays an important role on water requirement, its grain structure, size distribution and surface activity on viscosity, grain size on matrix density, crystal size on strength at high temperatures, the quantity of soluble alkali plays an important role in amount of water, freezing time and high temperature properties [11,13]. Basically, castables should have sufficient viscosity at a minimum water content. When mixed with water, no segregation should occur between grains in the castable and the body must display as high a strength as possible. To meet these con-

ditions, to generate strength in the structure shaped by casting and for low viscosity, calcium aluminate cement (CA) is used as binding agent. By water soluble additives, workability and setting time may be adjusted as desired [14,15]. Castables with very little or no cement have also been developed [16,17]. Water amount was reduced quite significantly by the application of disperse coagulation technique on fine powders [1,18,19] Thus, low cement castables have been developed in place of castables with high calcium aluminate cement content. Little cement requires little water. Little water leads to high density and low porosity, which means high strength. There are differing opinions on the use of powder state amorphous silica [20,21]. Micro silica is used as additive in Portland cement together

with fly ash and forms tobermorite by going into a hydrothermal reaction with CaO. Although the mechanism has not yet been fully explained, SiO₂ powder causes the same type of high strength by reacting with Ca and very fine alumina [23]. There are also views arguing that SiO₂ powder has no advantage at all [24]. Corrosion resistance is increased by C-additive due to its non-wetting property. SiC adds high refractory properties, thermal shock strength and high anti-corrosion properties to the castable.

Important properties of blast furnace trough refractory materials [12,23]

- civarında cürufların ve ham demirin kimyasal ataklarına karşı dayanımı (korozyon)
- Resistance against chemical attacks (corrosion) by slags and raw iron at about 1500 °C

oksidasyon dayanımı

- Termal şok direnci
- Basit ve mümkün olduğu kadar çabuk çalışabilirlik, tamir ve işletmeye alma (örneğin çabuk kuruması)
- Çevre sağlığına uygundur.

Dökülebilirlerin serviste karşılaştığı koşulları bilmek için kullanıldığı yüksek fırın kanallarının yapısını ve mekanizmasını tanımak gereklidir. Modern bir yüksek fırında günde 4000-13000 ton arası ham demir işlenir. Yüksek fırın döküm deliğinden 1460-1570 °C sıcaklığındaki ham demir dakikada yaklaşık 4-7.5 ton kanallara akar ve yaklaşık 300 kg cüruf/ton ham demir açığa çıkar. Yüksek fırının konseptiyonuna göre 2/5 döküm deliğiyle ve uygun sayıda kanal sistemleriyle çeşitli döküm sürelerinde 30-120 dakika çalışılır. Günde 30 döküme kadar ulaşılır. Yüksek fırın kanallarının örümü ve tamiri, döküm deliği harçlarının çalışma

esnasındaki maliyetleri yeni örümlerin maliyetinden daha fazla olabilir. Döküm deliği ve kanal harçlarının fiyatı tipine göre yaklaşık 200 ile 2000 Euro/t arasında değişir. Döküm deliğinden akan ham demir kanallar sistemiyle ham demir nakliyat kaplarına gönderilir. Kanallar sistemi bir ana kanal (döküm alma kanalı) ve onun sonunda cürufuyla beraber akan ve barajda ham demir kanalı ve cüruf kanalları olarak ayrıışan kanallardan oluşur. Kanalların sistemi ve yapı tarzı farklıdır. Sabit ve değiştirilebilen kanallar ile kanal yollarının basitleştirilmesi için devirmeli ve yana çevrilebilir, dönebilir kısımlar vardır. Kanalların sürekli astarları refrakter tuğlalar ile aşınan astarları çoğunlukla şekilsiz refrakterlerle örülür. Ana kanalın uzunluğu yaklaşık 10-23 m, genişliği 0.8-2.6 m civarındadır. Geleneksel ana kanalların eğimi % 7, akışı daha iyi ve daha az aşınan pool

sistemlerinde ise eğim %5 'in altındadır [12]. En fazla zorlanmalar ana kanalın refrakter astarlarında özellikle ham demirin ve cürufun; sıvı, gaz ve katının bulunduğu dengede bölgede gözlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, yukarıda kullanımında özellikleri ve davranışları belirtilen, yüksek fırın kanal bölgelerinde astar refrakter malzeme olarak kullanılan boksit esaslı kendiliğinden akıcı dökülebilirlerin geliştirilmesidir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Optimum reolojik ve akışkan davranışları ile ince tanelerinin miktarı belirlenen dökülebilir deney örnekleri üretilmiştir. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan hammaddelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2 de verilmiştir. Belirli bir programa göre karıştırılan tane fraksiyonlarına ağırlıkça % 6.5 su katılmıştır. 40 mm x 40 mm x

- Abrasion resistance against flowing raw iron and slags
- Volume stability (or low thermal expansion) at high temperatures
- Oxidation resistance against materials with C and SiC additives.
- Thermal shock resistance
- Simple and fast workability, repair and commissioning (e.g. fast drying)
- Compliance with environmental health

One has to know the structure and mechanism of blast furnace troughs, the castables are used in to understand the conditions the castables meet in service. Daily 4000-13000 tons of raw iron is processed in a modern blast furnace. Raw iron at 1460-1570 °C temperature runs into troughs at a rate of approximately 4-7.5 tons per minute from the blast furnace casting hole and approximately 300 kg slag/ton of raw iron is

derived. Based on the conception of the blast furnace, operation takes place for 30-120 minutes at various casting durations with 2/5 casting holes and appropriate numbers of trough systems. The cost of up to 30 castings per day are achieved. As regards the building and repair of blast furnace troughs, the operating cost of casting hole mortars may be higher than the cost of building from scratch. The cost of casting hole and trough mortars vary between approximately 200 and 2000 Euro/t depending on type. The raw iron flowing from the taphole is sent to the raw iron carriage containers through troughs. The trough system comprises a main trough (casting intake trough) and after that, troughs carrying the slag diverging into raw iron trough and slag troughs. The system and structural style of troughs vary. There are fixed and replaceable

troughs and tip type and side tipped rotatable sections to simplify trough ducts. The permanent linings of troughs are repaired with refractory bricks and worn out linings are mostly repaired with unshaped refractories. The length of the main trough is approximately 10-23 m and its width is about 0.8-2.6 m. Whilst the slope of traditional main troughs is 7 %, this slope is under 5 % in pool systems with better flows which are worn out less [12]. The hardest pressure is on the refractory linings of the main trough and it has been observed especially in the area where raw iron slag liquids, gases and solids are present. The purpose of this study is to develop bauxite based self flowing castables, the properties and behavior is explained above which are used as lining refractory material in blast furnace trough areas.

160 mm boyutlarındaki prizmatik şablonlara dökülen deney örnekleri 24 saat oda sıcaklığında kürlenmiş ve 24 saat 110 °C de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 1000 °C ve 1500 °C de 2 saat sürede sinterlenmiştir. Örnek-

lerin hacim ağırlıkları (DIN 51 065/T.1) ve açık poroziteleri (DIN 51 056) saptanmıştır. Kuru ve iki farklı sıcaklıkta ısıtılma işlemi görmüş örnekler uygulanan fiziksel ve mekanik testler Tablo 3 de belirtilmiştir. Kurutulmuş ve

1000 °C ve 1500 °C de sinterlenmiş örneklerdeki fazların değişimleri ve yeni oluşan fazlar X-ışınları difraksiyonu (XRD) ile saptanmış ve iç yapıları taramalı elektron mikroskopu ile incelenmiştir.

2. EXPERIMENTAL WORK

Test samples were produced from castables, the optimum rheological and viscous behavior and quantity of fine grains of which were determined. The chemical and physical properties of raw materials used in production of test samples are given in Table 2. 6.5 % water by weight is added to the grain fractions mixed under a certain sched-

ule. Test samples cast into prismatic templates of size 40 mm x 40 mm x 160 mm were cured at room temperature for 24 hours and were dried in the autoclave at 110 °C for 24 hours. The dried samples were sintered for 2 hours at 1000 °C and 1500 °C. The volume weights (DIN 51 065/T.1) and open porosities (DIN 51 056) of samples were determined. Physical and mechanical tests applied

to samples which went through heat process when dry and at two different temperatures are given in Table 3. The changes in phases in samples that were dried and sintered at 1000 °C and 1500 °C and newly formed phases were determined by X-ray diffractometry (XRD) and their internal structure were analyzed by scanning electron microscopy.

Tablo 2. Kullanılan hammaddelerin özellikleri Table 2. Properties of used raw materials

%	Sinter Boksit (Shanxi, Çin) Sinter Bauxite (Shanxi,	SiC (Sika, Norveç) SiC (Sika, Norway	Kalsine Alümina (Alcoa CT9 FG) Calcined Alumina, (Alcoa CT9	Reaktif Alümina (CTC 50) Reactive Alumina (CTC 50)	CA-Çimentosu (Secar 80) CA-Cement (Secar 80)	Mikro Silika RW-Fueller D Micro Silica RW-Fueller D
Al ₂ O ₃	90.24	-	99.5	99.5	79	0.3
SiO ₂	4.22	0.4	0.05	0.06	0.2	96.5
CaO	0.13	0.03	0.03	0.03	17.80	0.1
TiO ₂	3.73	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	1.21	0.25	0.04	0.03	0.13	0.05
MgO	-	-	-	0.04	-	0.3
Na ₂ O	0.08	-	-	0.15	0.37	0.5
SiC	-	98.2	-	-	-	-
Ateşte Zayıt - Fire Loss	0.03	0.25	0.05	-	1.5	0.9
Hacim Ağırlığı (g/cm ³) Volume Weight (g/cm ³)	3.27	3.25				2.28

Tablo 3. Deney örneklerine uygulanan testler Table 3. Tests applied to test samples			
Deney örneklerinin boyutları Dimensions of test samples	Isıl İşlem Heat process	Özellikler Properties	Test Yöntemi Test Method
40 mm x 40 mm x 160 mm Prizma - Prism	110 °C, 24 saat 110 °C, 24 hours 1000 °C, 2 saat 1000 °C, 2 hours 1500 °C, 2 saat 1500 °C, 2 hours	Soğukta Basma Mukavemeti (SBM) Cold Compressive Strength (CCS) SBM (oda sıcaklığında) CCS (room temperature) SBM CCS	DIN 51 067 PRE/ R 14
40 mm x 40 mm x 160 mm Prizma	1000 °C, 2 saat 1000 °C, 2 hours 1500 °C, 2 saat	Soğukta Kopma Modülü (SKM) Cold Modulus of Rupture (CYM) SKM (oda sıcaklığında, 3 nokta)	DIN 51 048/2 PRE/R 21
25 mm x 25 mm x 150 mm Prizma - Prism	110 °C, 24 saat 110 °C, 24 hours	Sıcakta Kopma Modülü Hot Modulus of Rupture (1500 °C de, 3 nokta) (at room temperature, 3 points)	DIN 51 048/1 PRE/R 18
50 mm x 50 mm Silindir	110 °C, 24 saat 110 °C, 24 hours	Sürünme 1500 °C de, Creep at 1500 °C, 0.2 MPa sabit yük altında, 24 saat Under 0.2 MPa fixed load, 24 hours	DIN 51 053/2 PRE/R 6
50 mm x 50 mm Silindir	110 °C, 24 saat 110 °C, 24 hours 1500 °C, 2 saat 1500 °C, 2 hours	Termal Şok Direnci, 950 °C de, Thermal Shock Strength, at 950 °C Presli hava ile (Avusturya Yöntemi) by compressed air (Austrian Method)	DIN 51 068/1 PRE/R 5
50 mm x 50 mm Silindir	110 °C, 24 saat 110 °C, 24 hours 1500 °C, 2 saat 1500 °C, 2 hours	1550 °C de, Pota Yöntemiyle At 1550 °C, by Ladle Method, Korozyon Dayanımı Corrosive Strength	DIN 51 069/2 PRE/R 34

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Örneklerin karakteristik özelliklerini belirlemek için uygulanan testlerin sonuçları Tablo 4 de verilmiştir. 1000 °C de ısıl işlem gören örneğin hacim ağırlığı hidrat fazların termik ayrışmasından dolayı kurutulan örneğe göre daha düşüktür. 1500 °C de pişen örnekte sinterleşmeden dolayı yoğunlaşma ve yapının sıklaşması sonucu hacim ağırlığının yükseldiği ya da porozite değerlerinin oldukça düştüğü saptanmıştır. Buna karşılık 1000 °C de pişen örnekte basma mukavemetinin yükseldiği, 1500 °C de pişen örnekte azaldığı Tablo 4 de gözlenmektedir. 1500 °C de pişen örnekte basma mukavemetinin düşüş nedeni yeni oluşan mineral fazları ve SiC in yüzeysel oksitleşmelerdir. (1500 °C de yeni fazların oluşumu ve SiC miktarının azalışı X ışını difraksiyonu (XRD) belirlenmiştir) Fakat bu azalış soğukta (oda sıcaklığında) kopma modülü testinde gözlenmemiştir. Literatür verilerine göre deney örneklerinin porozite değerlerinin yüksek olmasına rağmen, gerek oda sıcaklığında ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki mukavemet değerleri ile sürünme testinde 1500 °C de 0.2 MPa sabit yük altında 24 saat kalan örneğin akma hızı % 0.006 /saat olarak yeterli düzeydedir [24-28].

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The results of test applied for determining the characteristic properties of samples are given in Table 4. the volume weight of the sample, which was subjected to heat process at 1000 °C is lower than that of the dried sample due to the thermal segregation of hydrate phases. In the sample fired at 1500 °C, it was determined that the volume weight increased as a result of densification and tightening of composition due to sinterization or that porosity values dropped significantly. In contrast, it is observed that the compressive strength increased in the sample fired at 1000 °C and that it decreased in the sample fired at 1500 °C Table 4. The reasons for the compressive strength fell in the sample fired at 1500 °C were the newly formed mineral phases and surface oxidization of SiC (The formation of new phases and the decrease in SiC amount at 1500 °C were determined by X-Ray diffraction (XRD). However, this decrease was not observed in the modulus of rupture test in the cold (At room temperature). According to literature data, despite the high

Uygulanan termal şok direnci testinde hem kurutulmuş örnekler ve hem de 1500 °C de pişen örnekler 30 çevrime dayanmışlardır. Tüm örneklerde çatlak oluşumlarına rastlanılmamıştır. Ancak yüzeyde kurutulan örnekte 9. çevrimde, pişen örnekte 13. çevrimde ince kılcak çatlaklar gözlenmiştir. Pota yönteminde kullanılan yüksek fırın cüruf ile korozyon direnci testinde grafitli katkılı örneklerde infiltrasyon ve bozunma gözlenmemiştir. Şekil 1 de 1000 °C de Şekil 2 de 1500 °C de pişirilmiş deney örneğinin taramalı elektron mikroskopundaki (SEM) içyapısı görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek fırın kanallarında refrakter malzeme olarak kullanılan boksit esaslı kendiliğinden akıcı dökülebilirlerin üretimi bu çalışmanın amacı olmuştur. Kanal bölgelerindeki koşullar dikkate alınarak elde edilen deney örneklerine uygulanan mekaniksel ve termomekanik

porosity values of test samples, strength at both room temperature and also at high temperatures and the flow rate of the sample which stayed for 24 hours under 0.2 MPa fixed load at 1500 °C in the creep test as 0.006 %/hour were adequate [24-28]. In the applied thermal shock resistance test, both dried samples and also samples fired at 1500 °C withstood 30 cycles. No crack formations were observed in any samples. However, fine hairline cracks were observed in cycle 9 in the dried sample and in cycle 13 in the fired sample on surface. No infiltration or degradation was observed in samples with graphite additive

in the corrosion resistance test with the blast surface slag used in the ladle method. The scanning electron microscope (SEM) internal structure of the test sample fired at 1000 °C is shown in Figure 1 and test sample fired at 1500 °C is shown in Figure 2.

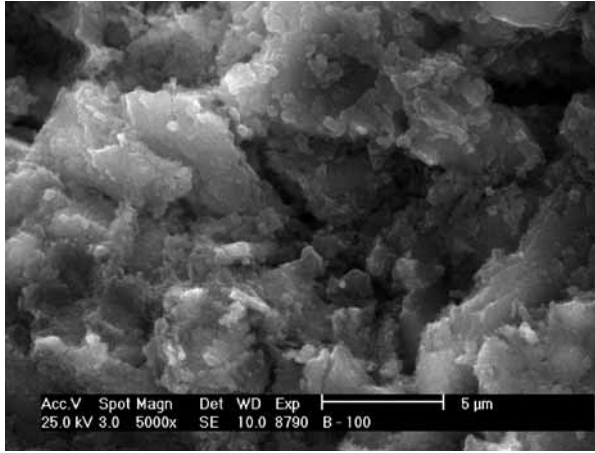
4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Production of bauxite based self flowing castables used as refractories in blast furnace troughs was the purpose of this study. The results of the mechanical and thermo-mechanical tests applied to test samples obtained considering trough area conditions

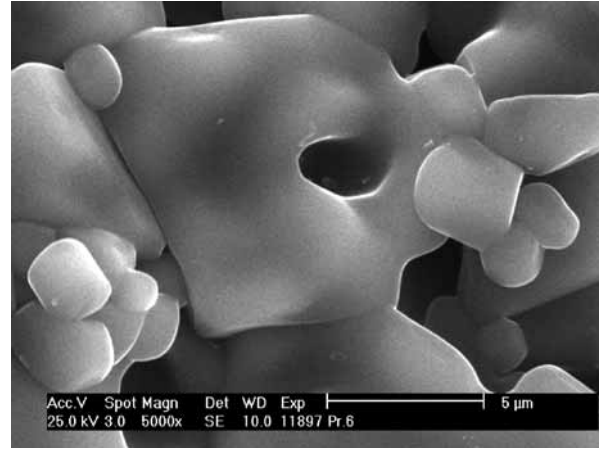
Tablo 4. Örneklere uygulanan testlerin sonuçları - Table 4. Results of tests applied to samples

Özellikler - Properties

Hacim Ağırlığı (g/cm ³) - Volume Weight (g/cm ³)	
• 110 °C de, 24 saat - hours	2.78
• 1000 °C de, 2 saat - hours	2.70
• 1500 °C de, 2 saat - hours	2.73
Açık Porozite (%) - Open Porosity (%)	
• 110 °C de, 24 saat - hours	13
• 1000 °C de, 2 saat - hours	18
• 1500 °C de, 2 saat - hours	15
Soğukta Basma Mukavemeti (MPa)	
• 110 °C de, 24 saat - hours	72
• 1000 °C de, 2 saat - hours	84
• 1500 °C de, 2 saat - hours	97
Soğukta Kopma Modülü (MPa) - Cold Compressive Strength (MPa)	
• 1000 °C de, 2 saat pişen örneğe - At 1000 °C, to 2 hour fired sample	17
• 1500 °C de, 2 saat pişen örneğe - At 1500 °C, to 2 hour fired sample	15
Sıcakta Kopma Modülü (MPa) - Hot Modulus of Rupture (MPa)	
• Testin uygulanış sıcaklığı 1000 °C - Test application temperature 1000 °C	9.1
• Testin uygulanış sıcaklığı 1500 °C - Test application temperature 1500 °C	1.8



Şekil 1. 1000 °C de pişen örneğin iç yapısı
Figure 1. Internal structure of sample fired at 1000 °C



Şekil 2. 1500 °C de pişen örneğin SEM deki iç yapısı
Figure 2. Internal structure of sample fired at 1500 °C at SEM

test sonuçları literatür verilerine göre iyidir. Vibratörlü dökülebilirler alternatif olan kendiliğinden akıcı dökülebilirler ileri endüstriyel ülkelerde önemli avantajlarından dolayı büyük oranda kullanılmaktadır. Ekonomik ve daha kolay çalışabilirlik özelliklere sahip olan bu yeni tip dökülebilir monolitik refrakterlerin yüksek fırın kanallarında kullanılabilişliği için endüstriyel deneme testleri uygulanmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma DAAD (Alman Akademik Değişim Hizmetleri) bursuyla Almanya'da Freiberg Teknik Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümünde gerçekleşmiştir. Yazarlar, maddi desteğinden dolayı DAAD'ye teşekkür ederler.

are better than literature data. Self flowing castables which are alternatives to vibrator castables are used at a high scale in advanced industrial countries due to the significant advantages they offer. Industrial tests must be applied for usability in blast furnace troughs of this new type of castable refractories which are more economical and easier to work with.

Thanks

This study was carried out in Freiberg Technical University Ceramics Engineering Department in Germany under DAAD (German Academic Exchange Services) grant. Authors thank DAAD due to its financial support.

Kaynaklar - Bibliography

01. Watanabe K., et al., 1989 Rheology of Castable Refractories, Taikabutsu Overseas Vol. 9, 41-53
02. Gamweger K., 1998, Rheologischer Charakterisierung feindisperser Al₂O₃ -Systeme, Veitsch-Radex Rundschau, Austria, 1, 41-53,
03. Altun A. 2000, Optimierung der Dispergierer und Fließverhalten von zementarmen selbstfließenden Feuerbetonen auf der Basis von Bauxit, XII. Internationale Konferenz über Feuerfeste Baustoffe, 28.-29.3.2000 Prag, Çek Cumhuriyeti, Sbornik s. 70-78
04. Altun A., The effect of SiO₂ content on the thermomechanical properties of bauxite- and corundum based self-flowing castables, Stahl und Eisen, Special September, 2005, 46-48
05. Altun A, Schulle W, Investigations regarding the development of high alumina self-flowing bodies based on sintered bauxite and fused corundum grains CFI-CERAM FORUM INT 78 (10): E24-E26 OCT 2001
06. Schulle W, Ulbricht J, Altun A; Investigations in the development of self-flowing basic castables, CFI-CERAM FORUM INT 78 (5): E39-E42 MAY 2001
07. Altun A., Baspınar S., Sağlam G., 2000, Use of spent SiC-kiln furniture as self-flowing castable based on SiC for cement industry, 43. Int. Colloquium on Refractories, Aachen, Germany, Stahl und Eisen Special October 2000, 96-98
08. Bugajski J., Königsberger E., 1998, Freifliessende basische Giessmassen – Grundlagen, Entwicklungsfortschritte, Stahl und Eisen special, September, 109-113
09. Bier T. A. at al., 1996, Workability of calcium aluminate cement based castables containing magnesia, Technical paper, R F 12/96, LAFARGE ALUMINATES, Paris.
10. Nagai B., 1989, Recent Advances in Castable Refractories in Japan, Taikabutsu Overseas Vol. 9 No. 1, 2-9.
11. Odanaka S., et al. 1990, Effect of alumina fine powder and silica flour addition on fluidity of castables, Taikabutsu Overseas 10, Nr. 1, 35-37.
12. Maier H. R., et al., 1995, Rheologie und Fließverhalten von zementarmen Feuerbetonen auf der Basis von Tabulartonerde, Stahl u. Eisen Special / XXXVIII. Feuerfeste Werkstoffe für Giessereien, Aachen, 136-140.
13. Takahashi M., 1989, Rheology of Fine Powders, Taikabutsu Overseas Vol. 9 No. 1, 54-60.
14. Routschka G., Majdic A., 1982 Feuerfeste Erzeugnisse für das Stichloch und für das Rinnensystems von Hochöfen im Spiegel der Literatur, Keram. Z. 34, 468-477.
15. Bugajski M., Schwaiger R., 1996, Freifliessende Giessmassen eine neue Generation ungeformter feuerfester Produkte, Veitsch-Radex Rundschau, Austria, 44-52.
16. H. Kyoden, Hamazaki Y., at al. 1989, Basic castable, Shinagawa Technical Report, 32, 75-86
17. Masaryk J., at al., 1993, Development and Use of low-Cement, Self-Flowing Castables, Proceedings of the UNITECR 93, SaO Paulo, Brazil, 527-538.
18. Zhiqiang C., at al., 1999 Hot Strength of Cordierite-SiC-Mullite Self-flow Castables for Kiln Furniture, Proceedings of the UNITECR 99, Berlin, 6-9 September 1999, 241-246,
19. Myhre B., 1991 Development of a Bauxite-Based Ultra-Low Cement Castable, Br. Ceram. Trans. J., 90, 149-152.
20. Oprea G. at al., 1997, Rheology Studies on Binding Systems for Self-Flow Refractory Castables, Proceedings of the UNITECR 97, New Orleans, Louisiana, 613-625.
21. Cousin J. F., at al., 1998, Formulation of spinel castables and the impact of additives and alumina on the their rheology, presented at the IREF-CON, Calcutta, India, LAFARGE Aluminates, Technical paper Reference F 98, 75782 Paris Cedex
22. Feldborg H., Myhre B., 1999, Use of Microsilica in a Lightweight Self-Flowing Refractory Castables, Proceedings of the UNITECR 99, 6-9 September 1999, Berlin, 90-92.
23. Maier H.R., Teller R., 1995, Rheologie und Fließverhalten von zementarmen Feuerbetonen auf der Basis von Tabulartonerde, Stahl u. Eisen Special / XXXVIII. Feuerfeste Werkstoffe für Giessereien, Aachen, 136-140.
24. Eguchi T., at al., 1989, Low-Cement-Bonded Castable Refractories, Taikabutsu Overseas Vol. 9 No. 1, 10-25
25. Schulle W., 1990, Feuerfeste Werkstoffe, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1990
26. Clavaud B. at al, 1996, Development of a Wear Factor Modelisation for Blast Furnace Main Troughs, Presentation at UNITECR 95, Kyoto Japan, LAFARGE Refractories Monolithiques, 92542 Montrouge, Technical Paper 05.09.1996.
27. Chou C. C., 1985, Constituents and Characterization of Refractory Castables for Blast Furnace Troughs, Am.Ceram. Soc. Bull., 64 (7) 1003-07.
28. Technical Data, 1996 LAFARGE Refractories Monolithiques, 92542 Montrouge Cedex, Technical Paper RF, France