

## ÖZET

Sentetik hammaddeye dayalı olduğundan pahalı olmakla birlikte sağladığı avantajlar göz önüne alındığında, dökülebilir refrakterlerin, tuğla tipi refrakterlerin yerini almaya başladığı gözlenmektedir. Çelik potalarında cüruf bölgesi için geliştirilme süreci devam ederken, erozyon direnci arzulanan çalışma bölgesinde kullanımları ise şimdiden yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada; çimentolu, düşük çimentolu ve çimentosuz olmak üzere değişik dökülebilir refrakter numuneler üretilerek, bunların fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra "pin-on-disc" yöntemine göre abrasiv aşınma testleri yapılarak, aşınmaya karşı dayanım özellikleri kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler: Dökülebilir refrakter, abrasiv aşınma**

## 1. GİRİŞ

Monolitik sıvı çelik potalarının aşınma astarlarında alümina ve/veya spinel gibi sentetik hammaddeler kullanılmasıyla gerek lojistik gerekse uzun süreli dayanımları açısından, geleneksel refrakter tuğla astarlarına karşı avantajlı olduğu değerlendirilmektedir. Buna daha temiz ve kaliteli çelik elde etme çabaları dahil edildiğinde, dökülebilir refrakterlerin önemi daha da belirginleşmektedir [1-3].

Bu çalışmada; çimentolu, düşük çimentolu ve çimentosuz olmak üzere değişik dökülebilir refrakter numuneler üretilerek, bunların fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra "pin-on-disc" yöntemi [4] ile abrasiv aşınma testleri yapılarak, aşınmaya karşı dayanım özellikleri kıyaslamalı olarak araştırılmıştır.

# Dökülebilir Refrakter Kompozitlerin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

## An Investigation on Abrasive Wear Properties of Castable Refractory Composites

Yrd. Doç. Dr. Selim **Yıldırım**  
Doç. Dr. Suat **Yılmaz**  
İstanbul Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Asst. Prof. Dr. Selim **Yıldırım**  
Assoc. Prof. Dr. Suat **Yılmaz**  
Istanbul University, Metallurgy and Materials Engineering Department, İstanbul

## ABSTRACT

It is observed that castable refractories start to replace brick type refractories considering the advantages they afford although they are costly, as they are based on synthetic raw materials. Their use in operation areas where erosion resistance is desired has become widespread already, while the process of their development for slag area steel melting ladles. In this study, various castable refractory specimens were produced as cement, low cement and cement free and their physical properties have been determined. Subsequently, abrasive wear tests were conducted under the "pin-on-disc" method and their abrasive wear resistances were evaluated comparatively.

**Keywords: Castable refractory, abrasion**

## 1. INTRODUCTION

It is deemed that by using synthetic raw materials like alumina and/or spinel in the abrasion linings of monolithic steel melting ladles, they afford advantages in respect of both logistics and also long-term endurance, compared to the traditional refractory brick linings. When the efforts for obtaining clean and high quality steel are also considered, the significance of castable refractories becomes even more prominent [1-3].

In this study, various castable refractory specimens were produced as cement, low cement and cement free and their physical properties have been determined. Subsequently, abrasive wear tests were conducted under the "pin-on-disc" method [3] and their abrasive wear resistances were evaluated comparatively.

**Tablo 2.1 Dökülebilir refrakterlerin tane boyutu dağılımı ve ağırlıkça oranları [1]**  
Table 2.1 Grain size distribution and percentages by weight of castable refractories [1]

	Tane boyu	A	B	C
Sinterlenmiş spinel Sinterized spinel	0-1 mm	14	14	14
Sinterlenmiş spinel Sinterized spinel	< 20 $\mu$ m	6	6	6
Sinterlenmiş alümina Sinterized alümina	1-5 mm	53	53	53
Fused-alumina Fused-alumina	0-1 mm	12	12	12
Mikro silika Micro silica	0.1-0.3 $\mu$ m		+0.5	+0.5
Sinterlenmiş CA6 Sinterized CA6	< 20 $\mu$ m			2
Reaktif alümina Reaktif alumina	2.5 $\mu$ m	8	8	8
Yüksek alüminalı çimento (70%-Al2O3) High alumina cement	14 $\mu$ m	7	2	
Hidrate alümina Hydrated alumina	2 $\mu$ m		5	5
Dispersan Dispersant		+1	+1	+1

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

## 2.1. Numunelerin Hazırlanması

Hammadde kimyasal bileşimleri ve tane boyut dağılımları Tablo 2.1'de verilen dökülebilir numuneler (A, B ve C), %5 sulu bir ortamda karıştırılarak homojenize edilmiş ve uygun kalıplarda vibrasyon ile şekillendirilerek küçük deney potaları haline getirilmiştir. Mekanik testler için 50 x 50 x 50 mm boyutlarındaki kübik numuneler yine vibrasyonla şekillendirilmiştir. Priz alması için yapılan kurutmadan sonra refrakter numuneler, 1600°C'de 2'şer saat süreyle pişirilerek sinterlenmiştir. Hazırlanan refrakterlerin kimyasal bileşimleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

## 2.2. Fiziksel Özellikler

Mekanik testlerde kullanılmak üzere hazırlanan numunelere, Arşimet prensibine göre; %-su emme, %-görünür porozite, yığın yoğunluk ile Quantachrome yöntemine göre; por büyüklüğü dağılımı testleri uygulanmıştır.

Dökülebilir numunelerine ait fiziksel test sonuçları, Tablo 2.3'te verilmiştir.

**Tablo 2.2 Refrakterlerin kimyasal bileşimleri (Ağ.-%)**  
Table 2.2 Chemical compositions of refractories (Wt.-%)

Malzeme tipi Specimen type	Al2O3	MgO	CaO	SiO2
A	93	4.5	2	0.2
B	94	4.5	0.6	0.7
C	94.5	4.5	0.2	0.7

## 2. EXPERIMENTAL WORK

## 2.1. Preparation of Specimens

Castable specimens (A, B and C), the raw material chemical compositions and grain size distributions of which are given in Table 2.1 were homogenized by stirring in a medium with 5 % water and were formed into small test pots being shaped by vibration in appropriate molds. For mechanical tests, cubic specimens of size 50 x 50 x 50 mm were again shaped by vibration. After the drying conducted to allow setting, the refractory specimens were sinterized by firing for 2 hours

each at 1600 °C. The chemical compositions of the prepared refractories are given in Table 2.2.

## 2.2. Physical Properties

%-water absorption, %-apparent porosity, bulk density tests according to Archimedes principle and pour size distribution tests according to Quantachrome method were applied to the specimens prepared to be used in mechanical tests.

The physical test results of castable specimens are given in Table 2.3.

**Tablo 2.3 Refrakterlerin fiziksel özellikleri Table 2.3 Physical properties of refractories**

	A	B	C
Açık porozite (%) Open porosity (%)	13.60	16.15	14.14
Su emme (%) Water absorption (%)	4.32	5.29	4.51
Yığın yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	3.15	3.05	3.14
Por büyüklüğü dağılımı (nm)	R <sub>ort</sub>	7000	8000
Pore size distribution	R <sub>min</sub> - R <sub>max</sub>	7000-15000	1500-15000
Soğukta basma mukavemeti (MPa)	244	73	61
Cold compression strength (MPa)			

### 2.3. Aşınma Deneyleri

Çalışma koşullarında aşınmaya karşı dayanımları önemli olan numuneler 50 N yük altında 80 numaralı aşındırıcı zımpara kullanılarak abrasiv aşınmaya uğratılmıştır. Her bir numuneye aynı şartlarda 5 deney yapılmış ve numunelerdeki ağırlık kaybı ( $\Delta G$ ) cinsinden aşınma miktarının ortalaması olarak alınmıştır [3]. Her bir numunedeki ağırlıkça aşınma miktarları A numunesindeki aşınma miktarlarına oranlanarak bağıl aşınma oranlarına (W) dönüştürülmüştür (Eşitlik 1) [3].

**W =  $\Delta G$  numune /  $\Delta G$  A numunesi(1)**

Daha sonra bağıl aşınma direnci (R) olarak Eşitlik 2'ye göre

aşınma oranlarının tersi alınmıştır [3].

**R = 1 / W**

Aşınma deney sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Dökülebilir refrakter malzemesi olarak kullanılan A, B ve C numunelerinden fiziksel özellikler bakımından çimentolu dökülebilir A numunesinin daha üstün değerlere sahip olduğu görülmektedir. Basma mukavemeti, diğer düşük çimentolu (B) ve çimentosuz (C)'a göre oldukça yüksektir. Mekanik mukavemetin yüksek olması, A'nın diğerlerine göre, porozitesinin ve ortalama por çaplarının da küçük olmasının bir sonucudur. Çimentolu A-

numunesi, daha iyi priz almış olması sonucu, aynı sıcaklıkta pismelerine rağmen daha iyi sinterlenmiştir. A numunesinin daha iyi olan özellikleri sayesinde aşınma direnci açısından da diğer numunelere üstünlük sağlamıştır. Şekil 1'de numunelerin aşınma direncinin değişimi görülmektedir.

Sonuç olarak A numunesinin temsil ettiği çimentolu dökülebilir refrakter malzemenin, erozyon aşınmasının yoğun yaşandığı çalışma bölgesinde, diğer B ve C'ye göre ~%25 daha yüksek aşınma dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, astar malzemesi olarak tercih edilmelidir.

Tablo 4 Aşınma deney sonuçları Table 4 Abrasion test results			
Numune Specimen	Ortalama Aşınma miktarı $\Delta G$ Average abrasion amount, $\Delta G$	Aşınma Oranı W Abrasion Ratio W	Aşınma Direnci R Abrasion Strength R
A	21,52	1,00	1,00
B	26,01	1,21	0,83
C	25,23	1,17	0,85

### 2.3. Abrasion Tests

The specimens, whose strength against abrasion under working conditions is important, were subjected to abrasion under 50 N load using no. 80 abrasive emery board. Five tests were applied to each specimen under same conditions and the weight loss in the specimens was taken as the average of the amount of abrasion in ( $\Delta G$ ) [3].

The amount of abrasion by weight in each specimen was proportioned to the amount of abrasion in specimen A and was transformed into relative abrasion ratio (W) [Equation 1] [3].

**W =  $\Delta G$  specimen /  $\Delta G$  specimen A(1)**

Afterwards, the inverse of the abrasion ratios in Equation 2

was taken as the relative abrasion strength (R) [3].

**R = 1 / W**

Abrasion test results are given in Table 4.

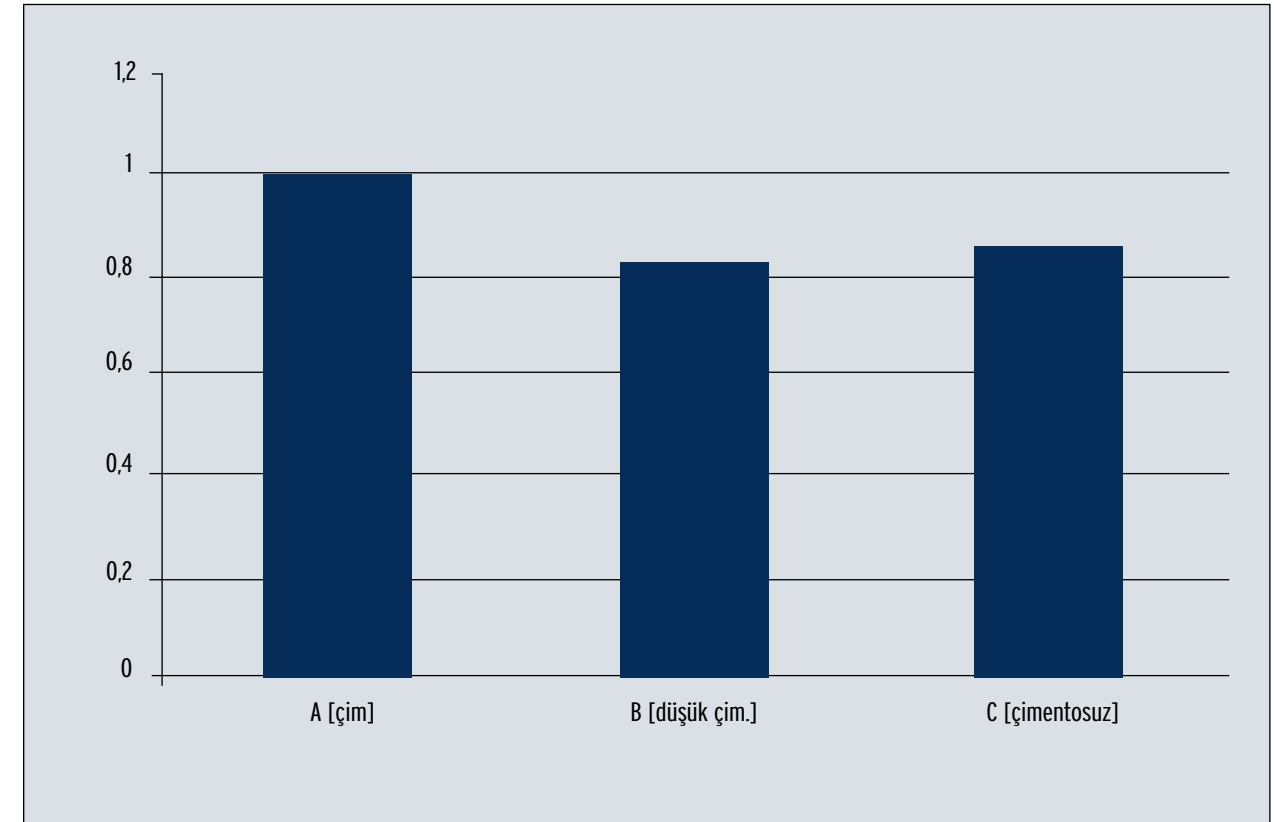
### 3. RESULTS AND EVALUATION

It is observed that out of specimens A, B and C used as castable refractory materials, cement castable A specimen has higher values in terms of physical properties. Its crushing strength is quite high compared to the other low cement (B) and cement free (C) specimens. The reason for its mechanical strength to be high is due to A's porosity and average pore diameters being smaller than the others. Specimen A with cement was sinterized better

although all were fired at the same temperature since it set better.

Specimen A has displayed superiority over other specimens in terms of abrasion strength as well due to its higher properties. Figure 1 shows the change in the abrasion strength of specimens.

In conclusion, it was determined that the castable refractory material with cement represented by specimen A had ~%25 higher abrasive strength compared to other specimens B and C in the working area subject to intense erosion abrasion. Therefore, it should be preferred as lining material.



Şekil 2.1 Dökülebilir refrakterlerin abrasiv aşınma dirençlerinin karşılaştırılması  
Figure 2.1 Comparison of abrasive wear resistances of castable refractories

### Kaynaklar, Bibliography

1. G.W.Kriechbaum, C. Wöhrmeyer, G. Routschka, "New Materials for refractory linings in the steel making sector", Alcoa, 1992
2. S. Yılmaz, "Vergleich zwischen MgO-C-Steinen und MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Spinnellgie.massen als Verschlei.futter für Stahlgie.pfan-nen", Keramische Zeitschrift, 51(8), 636-638 (1999)
3. S. Yılmaz, "Corrosion of high alumina-spinel castables by steel ladle slag", Ironmaking&Steelmaking, baskıda, (2006)
4. S.Yıldırım, "27MnSi5 ve 23MnNiMoCr54 Kalite Zincir Çeliklerinin Mekanik ve Aşınma Özellikleri", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 1992.

### Teşekkür

Metamin Refrakter A.Ş.'ye desteklerinden dolayı teşekkürler.

### Thanks

We would like to thank Metamin Refrakter A.S. due to their support.