

논문

구상흑연주철의 인몰드 용탕처리용 무점결제 브리켓의 제조 및 특성

발육[†] · 신제식* · 문병문*

Institute for Problems of Materials Science(IMPS), National Academy of Sciences of Ukraine
*한국생산기술연구원 생산기반기술본부 주조기술연구부

Manufacturing and Characteristics of Binderless Briquette for In - Mold Melt Treatment of Ductile iron

Baglyuk G.A[†], Je-Sik Shin*, and Byung-Moon Moon*

Institute for Problems of Materials Science(IMPS), National Academy of Sciences of Ukraine, Krzhyzhanovsky Str.,
Kiev 142, Ukrain, 03680

*Liquid Processing & Casting Technology R&D Department, Production Technology R&D Division,
Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 406-840, Korea

Abstract

The manufacturing and application characteristics of binderless briquette for in-mold melt treatment of ductile cast iron were investigated. The porosity of briquette was decreased with increased magnesium content. The dissolution rate was increased with the latter in the range of 5~10%. The fluxing effect was the best when 5%CaF₂ was added. The optimum composition of the binderless briquette was obtained.

Key words : Ductile iron, In-mold, Briquette, CaF₂.

(Received August 7, 2009 ; Accepted September 24, 2009)

1. 서 론

좋은 재질의 주철주물품을 생산하기 위해서는 주철의 화학조성, 응고 및 냉각속도[1-2] 그리고 용해·주입과정 중의 적절한 용해과정(장입재의 조성, 양, 투입방법 및 순서 등) 및 용탕처리가 중요하다. 그 중에서도 용탕의 점중과 구상화처리 등은 주철의 거시 조직 및 흑연의 형상에 크게 영향[3-7]을 미치므로 매우 중요하다. 주철의 생산 현장에서는 이러한 기본지식이 있다 하더라도 주물제품의 크기와 형상에 따라서 이를 어떻게 적용하여야 하는 것은 조건에 따라서 달라진다.

인몰드 용탕처리법은 주입시간이 길거나 이에 따른 용탕의 온도저하가 큰 경우에 사용되는 방법 중 가장 경제적이며 효과가 있는 방법 중에 하나이다. 그러나 이 기술은 적합한 탕도나 주입구의 설계에 주의가 요구되며 주철용탕과 점중제의 상호작용에 의한 반응물이 생성되지 않도록 하거나 설혹 반응물들이 생성되더라도 이들이 성형 공간에 침입하는 것을 억제하고 주입과정 중에 충분히 반응을 마칠 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 인몰드 용탕처리제는 입상의 상태로 사용하는 경우도 있으며 반응 생성물 및 미반응 개재물의 생성물의 주형 내 침투를 막고 주조 또는 합형 공정의 간소화를 위하여 일정한 형상으로 성형하여 브리켓으로 만들어 사용하기도 한다.

브리켓 형상으로 제조하는 방법에는 적정 용탕처리제의 용해 제조 방법과 분말성형방법이 있다. 분말 야금학적 방법으로 브리켓을 제조하는 방법은 합금용해방법에 비해 원재료의 회수율이 높고 제조공정에 드는 전력 소모가 적으므로 보다 더 경제적인 방법이라 할 수 있겠다.

구상흑연주철에 대해서는 일반적으로 사용되는 구상화제와 마찬가지로 인몰드 용탕처리제 역시 보통 3~20% 이내의 마그네슘을 포함하여 실리콘, 철, 니켈 및 구리 등의 금속과 함께 어우러져 있으며 소량이지만 칼슘, 희토류금속, 베릴륨 및 알루미늄 등도 포함 되어서 긍정적인 영향을 미치고 있다[8-11]. 이러한 것들은 용해 제조하게 되면 전력의 소모는 물론이고 고가의 성분원소들이 증발 손실됨은 피할 수 없게 된다. 따라서 기계적 혼합방식이 더 나을 것이다.

몇몇 외국 기업에서는 점결제로 유동 유리, 점토, 시멘트 및 물 등 브리켓에 함유시켜 적용하기도 하는데 이것은 슬래그와 가스발생을 유발하여 주철에 악영향을 끼칠 수도 있다. 따라서 이러한 점결제 없이 브리켓 성형을 하면 보다 우수한 품질의 주철을 생산할 수 있게 된다. 본 연구에서는 점결제를 사용하지 않고 브리켓을 제조하였으며 각 조성에 따른 성형압력을 달리하여 브리켓의 기공도와 밀도 그리고 용해시의 분해시간 등을 검토하였다.

[†]E-mail : gbag@rambler.ru

2. 실험 방법

브리켓의 성형을 위하여 구성분말을 분말혼합기에서 약 30분간 혼련한 후 혼합분말 15 g을 STD11 재질의 가로, 세로 각각 50 그리고 높이 100 mm의 금형에 넣고 Fig. 1과 같은 유압식 프레스를 사용하여 분말성형압력을 200~600 MPa범위에서 100 MPa 간격으로 변화시켜 상온에서 5분간 압축성형 하여 Fig. 2와 같은 압축성형체를 얻었다. 기공율은 내화벽돌의 기공율 측정방법인 한국의 KSL3114와 동일한 방법으로 측정하였으며 브리켓의 취급 시 내구성을 알아보기 위해 단축압축 강도를 측정하였다.

얻은 브리켓의 분해시간(dissolution time)은 1450°C로 유지된 250 kg용량의 선철용탕 레들에서 용탕 면 아래 30 cm지점에까지 플린저를 이용하여 압축성형 된 브리켓을 찢러 넣고 브리켓의 용탕과의 반응으로 인한 불꽃 및 기포반응이 진정되



Fig. 1. Cold Pressing machine for making of briquette specimen.

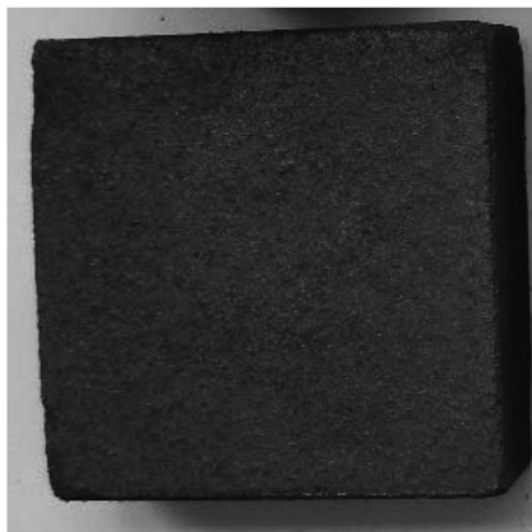


Fig. 2. The shape of briquette specimen.

는 시간까지로 유지하여 측정하였다. 브리켓 제조 시 사용된 기본조성합금(Base Metal Alloy)의 화학조성은 아래 Table 1에서 보이는 바와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 각종 브리켓의 특성

다양한 조성의 용탕처리제 브리켓에 대하여 성형압력과 밀도(기공도)의 상호관계에 대하여 조사하였다.

3.1.1. 간단한 2 종 분말(기본조성합금 분말과 철분말)로 제조한 브리켓

Table 2에는 두 분말의 다양한 배합비를 나타내었다. 상기 브리켓 조성에 대하여 압축성형압력과 밀도(기공도)와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서는 서로 다른 배합 비를 가진 2 종 분말 브리켓의 기공도에 미치는 압축 압력의 영향을 나타내었는데 압력증가에 따라 브리켓의 기공도가 감소하는 단순한 경향을 나타내고 있다. 이는 철분말에 비하여 기본합금 분말의 분말입자 분

Table 1. Chemical composition of base alloy (BMA).

(mass%).				
Mg	Ca	Al	Fe	Si
7.6	0.34	0.84	39.1	51.5

Table 2. Compositions of briquettes of the mixture number from 1 to 6.

Mixture, No.	Composition, (% mass.)		Theoretical density, g/cm ³
	Base metal alloy	Iron	
1	----	100	7.80
2	20	80	6.26
3	40	60	5.23
4	60	40	4.49
5	80	20	3.93
6	100	---	3.50

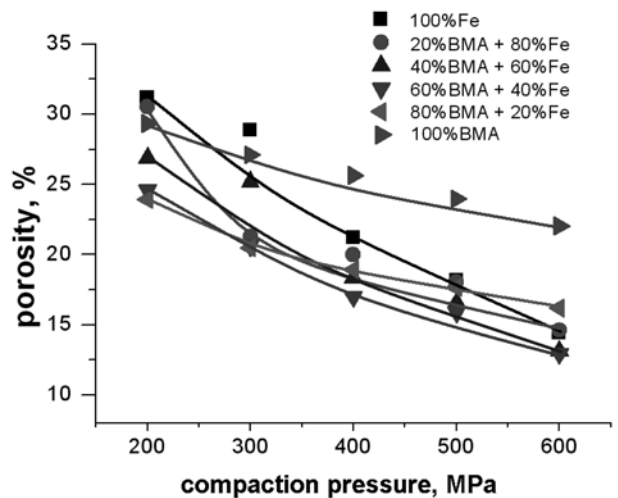


Fig. 3. Variations of porosity with compaction pressure the composition of briquette.

Table 3. Compositions of briquettes of the mixture number from 7 to 10.

Mixture, No.	Content of elements, %				Theoretical density, g/cm ³
	Mg	CaF ₂	BMA	Iron	
7	0	5	60	35	4,49
8	4	5	60	31	4,00
9	6	5	60	29	3,87
10	8	5	60	27	3,74
11	10	5	60	25	3,62

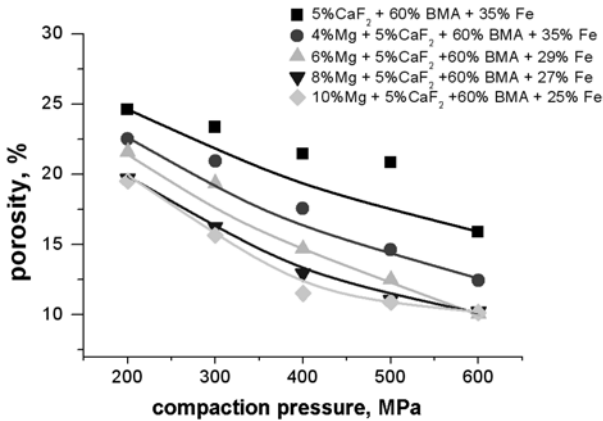


Fig. 4. Variations of porosity with compaction pressure and magnesium content of briquette with 5% CaF₂.

Table 4. Composition of briquettes of the variation of flux content (CaF₂).

Mixture, No.	Content of elements, %				Theoretical density, g/cm ³
	Mg	CaF ₂	BMA	Iron	
12	10	0	60	30	3,74
13	10	2	60	28	3,69
14	10	4	60	26	3,64
15	10	6	60	24	3,59
16	10	8	60	22	3,54

산효과가 더 크기 때문으로 생각되며 이는 기본합금 분말이 철분말에 비하여 입도분포범위가 보다 넓은 것에 기인한다. 브리켓의 기본합금 분말 함유량이 80%이상으로 증가하면 압축 특성이 급격히 변하는데 그것은 철분말과 취성이 큰 기본합금 분말의 혼합 분산도가 급격히 떨어지기 때문이다.

3.1.2 4 중 분말로 제조한 브리켓의 마그네슘의 영향

브리켓의 성형에 영향을 미치는 마그네슘 함유량 연구를 위하여 0~10%까지 마그네슘 함량을 변화시켰다. 마그네슘 함량을 그 이상으로 증가시키는 것은 용해 중 분해된 마그네슘의 과다한 산화반응(pyroeffect)의 발생 때문에 불합리하다. Table 3은 4 중 분말로 이루어진 브리켓 조성구분과 이론밀도이다.

압력은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 브리켓의 마그네슘 함량보다 기공도에 미치는 영향이 더 적은 것을 알 수 있다. 브리켓 안의 마그네슘 함량이 증가하면 기공도는 줄어든다(동일한 압축압력에서). 이는 마그네슘은 매우 높은 가소성을 가지고 있

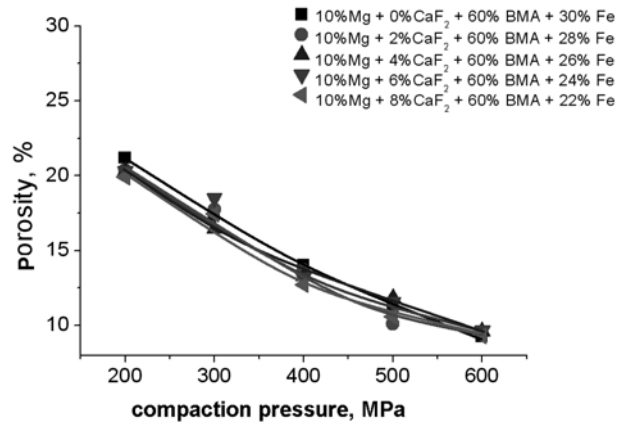


Fig. 5. Variations of porosity with compaction pressure and flux content of briquette with 10% Mg.

Table 5. Composition of briquette of the mixture number from 17 to 21.

Mixture, No.	Contents of elements, %				Theoretical density, g/cm ³
	Mg	CaF ₂	BMA	Iron	
17	10	5	20	65	4,68
18	10	5	35	50	4,22
19	10	5	40	45	4,08
20	10	5	60	25	3,62
21	10	5	80	5	3,25

고, 분말 혼합물의 소성변형 과정을 용이하게 하기 때문이다.

3.1.3 4 중 분말로 제조한 브리켓의 플럭스(CaF₂) 함량의 영향

Table 4에서는 다양한 플럭스(CaF₂) 함량을 가진 브리켓의 조성을 보여주고 있으며 Fig. 5에서는 서로 다른 플럭스(CaF₂) 함량을 가진 4 중 분말 브리켓의 밀도(기공도)에 미치는 압력의 영향을 보여주고 있다. 여기서 보여진 바와 같이 플럭스의 함량(8%이내)은 기공도에 영향을 미칠 수 있을 만큼 충분한 양이 첨가되지 않은 것을 알 수 있다. 이는 마그네슘과는 달리 플럭스는 충분한 가소성을 갖고 있지 않기 때문이다. 따라서 단순히 기공도는 주로 압축압력에만 의존하는 것을 알 수 있다.

3.1.4 4 중 분말로 제조한 브리켓의 철분말과 기본합금 분말 배합비 변화의 영향

Table 5에서는 다양한 철분말과 기본합금 분말 배합비를 가진 브리켓 조성을 보여주고 있다. 4 중 분말로 제조한 용탕처리 브리켓의 철분말과 기본합금 분말 배합비 변화가 브리켓의 기공도에 미치는 영향은 2 중 분말에 비하여 상대적으로 매우 작으며 다만 압력에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 이는 다양한 입도분포에 기인한 것으로 생각된다.

3.2 주철용탕과 브리켓의 반응성

브리켓과 주철용탕의 완전한 반응은 브리켓의 조성구분과 기공도에 달려있다.

3.2.1 용탕과의 반응에 따른 브리켓 분해시간과 기공도의 영향

브리켓의 분해속도에 영향을 주는 것은 용탕과의 반응 시의 온도 증가 속도인데 이것은 브리켓의 열전도도와 내구성(초기부

과 속도)과 직접적인 관계가 있다. 분해시간 측정 결과는 Table 1~5까지의 브리켓에 대해서 Fig. 7에서 보이는 바와 같이 가장 긴 시간동안 분해한 것은 녹는 온도가 가장 높은 순수한 철분말로 이루어진 것이고 비슷한 조성을 가진 브리켓의 분해 속도에 영향을 주는 것은 그들의 열 전도성과 브리켓의 내구성에 의존한다. 브리켓의 기공도가 20% 정도까지 증가할 때 브리켓 분해 시간은 점차적으로 감소하고 있는데 이것은 브리켓의 내구성 감소로 인한 초기붕괴(부분탈락)시간이 짧아지기 때문이며 기공도가 20% 이상으로 증가할 때에는 브리켓의 분해속도가 다시 완만하게 증가하는데 이는 브리켓의 내구성에 따른 초기붕괴시간은 비슷한 반면 밀도감소로 인한 브리켓 물질의 열전도 매체의 질량 감소에 따른 열전도도의 감소에 기인한 것으로 생각된다. 한편, Fig. 7에서와 같이 기본합금 분말의 함량 증가에 따라 브리켓 분해시간이 감소하는 이유는 조성에 따라 용융온도가 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

3.2.2 마그네슘 함량에 따른 브리켓 분해 시간에 미치는 기공도의 영향

Fig. 8은 마그네슘 함량에 따른 기공도와 브리켓 분해시간의 관계를 나타낸 것이다. 여기에서 살펴보면 마그네슘 함량이 다른 분위기 하에서 브리켓의 분해 시간이 기공도에 영향을 받

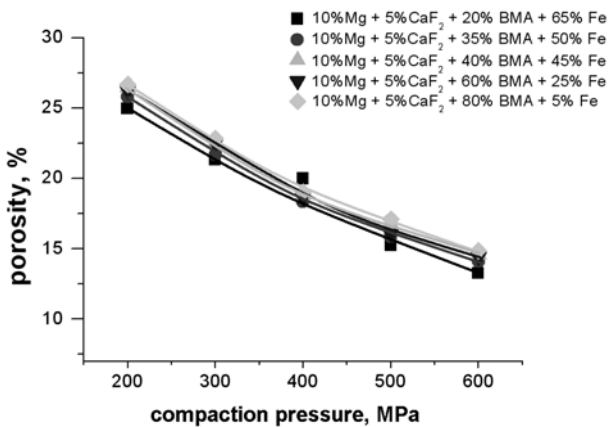


Fig. 6. Variations of porosity with compaction pressure and the balance between BMA and Fe of briquette with 10% Mg and 5% CaF₂.

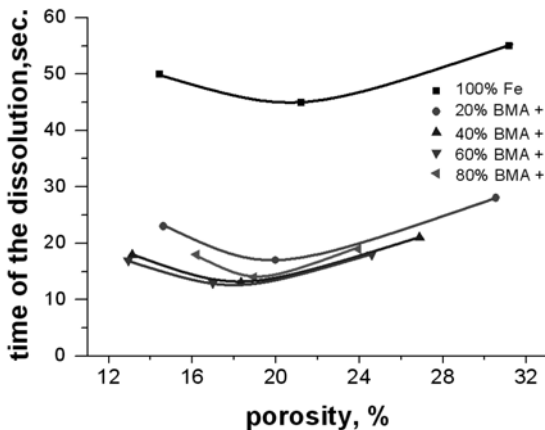


Fig. 7. Variations of dissolution time of briquette with porosity and the content of BMA.

고 있음을 보여주고 있다. 처음에는 기공도가 증가함에 따라 분해시간도 증가하다가 임계값을 지나게 되면 다시 분해시간이 짧아지는 경향을 보이고 있다. 이는 초기에 기공도가 약간 증가할 때에는 용탕과 브리켓의 마그네슘의 접촉 면적이 작아서 분해시간이 약간 증가하지만 일정한 시간이 지나서면 브리켓의 열적포화상태가 최고에 달한 후에 브리켓의 부분적 열적미소붕괴가 급격히 진행되므로 기공도의 증가에 따른 분해시간의 감소현상이 나타나게 된다. 브리켓의 마그네슘함량이 증가할수록 브리켓의 분해시간은 급격히 증가하게 되는데 이는 마그네슘과 용탕과의 급격한 반응으로 인한 마그네슘의 급격한 증발소모로 인해 브리켓의 온도가 빠른 시간 안에 떨어지는 효과에 의한 것으로 사료된다. 결과적으로 브리켓 분해시간의 최소치는 마그네슘 함량이 브리켓에 가장 적을 때 나타남을 알 수 있다. 그러나 마그네슘이 전혀 들어있지 않은 경우에는 그림에서 보는 바와 같이 브리켓의 기공도와 열전도율의 상호작용 최적화로 다른 경향을 보이고 있다.

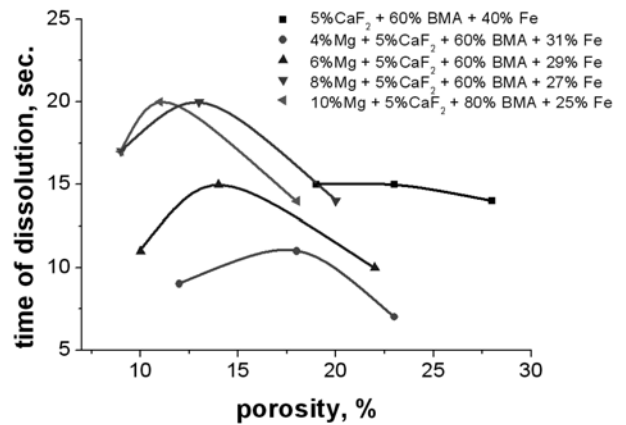


Fig. 8. Dependence of briquette dissolution time on content of magnesium.

Table 6. Dissolution time of briquette depending on contents of the flux.

Mixture No.	Sample No.	Porosity, %	Time of dissolution, sec.
12	1	21	17
	2	14	18
	3	9	19
13	1	20	16
	2	14	18
	3	9	19
14	1	20	16
	2	13	17
	3	10	18
15	1	20	17
	2	13	18
	3	10	19
16	1	20	18
	2	13	19
	3	9	20

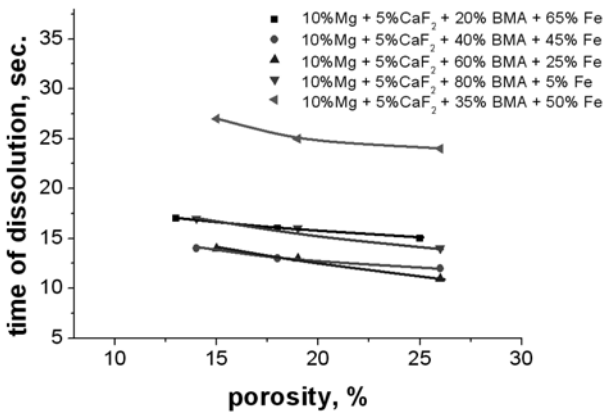


Fig. 9. Dependence of time of dissolution on porosity at varied content of BMA and constant content of Mg and CaF₂.

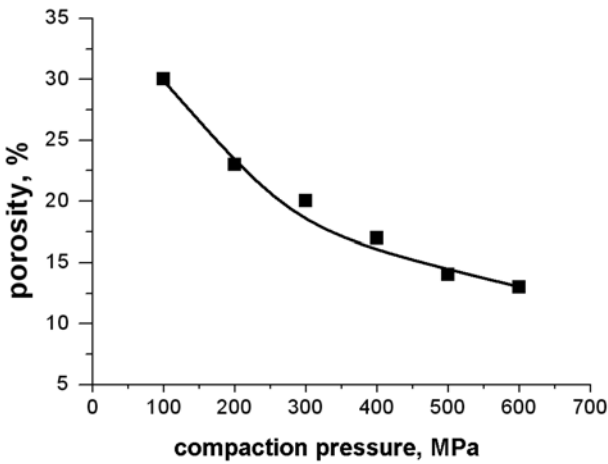


Fig. 10. Dependence of birquette porosity on compacting pressures of briquette.

3.2.3 플럭스(CaF₂)의 함량에 따른 브리켓의 분해 시간에 미치는 기공도 영향

Table 4에서 나타난 것과 같은 조성으로 용탕처리제의 분해 시간을 조사하였다. 그 결과는 Table 6에 나타내었는데 다음과 같은 결과를 도출하였다. 플럭스의 량은 분해시간에 별 영향이 없었다. 그러나 약간의 플럭스의 첨가는 소결의 효과를 나타내어 브리켓 강도가 향상되었다. 실험에서 브리켓이 0~4%의 플럭스를 포함하였을 때에는 용탕표면의 산화방지 플럭싱 효과가 나타나지만 플럭스량이 5~8%로 증가되었을 때는 플럭싱 효과가 더 이상 존재하지 않았다. 그래서 최적의 플럭스량은 5%임을 알 수 있었다.

3.2.4 기본합금 분말 함량에 따른 브리켓의 분해 시간에 미치는 기공도의 영향

Table 5에 표시된 용탕처리제의 조성을 갖는 브리켓에서 조성 과 기공도에 따른 브리켓의 분해시간을 조사한 결과 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다. 마그네슘과 플럭스 함량이 동일한 상태에서 기본합금 분말 함량이 변화할 때 기공도에 따른 브리켓 분해시간의 관계를 보여주고 있다. 이 그림에서 보이는 바와 같이 기공도가 13~26%로 증가할 때 분해 시간은 감소하

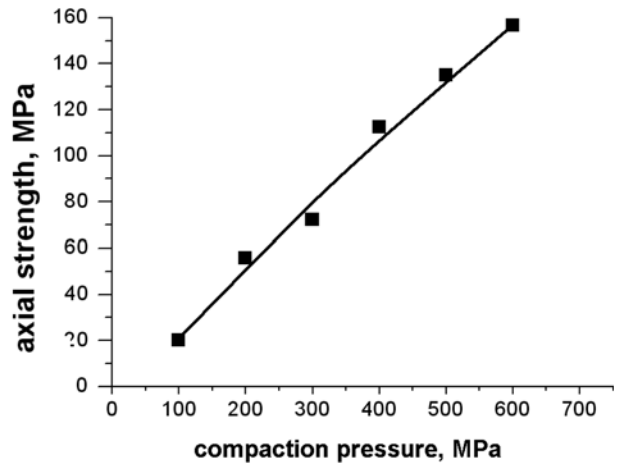


Fig. 11. Dependence of axial strength of briquettes on compaction pressure for modifier: 10%Mg, 5%CaF₂, 35%BMA; 50%.

였는데 이는 브리켓의 인성의 감소와 기공도 증가량에 따른 브리켓과 용탕 접촉면의 증가로 설명할 수 있다. 브리켓 조성에서 기본합금 분말의 함량이 20~80%로 증가할 때 분해 시간은 감소하고 최소분해시간은 브리켓에 기본합금 분말 60~80% 및 철분말 5~25%의 량을 가질 때 나타난다. 이것은 기본합금 분말의 용점이 낮고 용점이 높은 철분말이 최소로 되기 때문이다.

3.3 최적화된 브리켓의 성형압력과 강도

이상의 연구에서 가장 최적화된 용탕처리제의 조성은 10%Mg-5%CaF₂-35%BMA-50%Fe인 것으로 나타났다. 조성의 용탕처리제는 성형압력(200~600 MPa)에서 충분히 짧은 분해시간(12~14 sec)을 갖고 있다. 한편, 해당조성의 브리켓이 취급하는데 필요한 충분한 강도를 발현 하는 것이 중요하므로 압축 성형압력에 따른 브리켓의 강도를 측정하였다. Fig. 10은 최적화된 브리켓의 압축압력에 따른 브리켓 기공도의 변화를 나타낸 것이다.

브리켓 성형시에 압축 압력이 100~600 MPa로 증가할 때, 기공도는 30%에서 13%로 감소하였다. 압축압력이 증가할 때 기공도의 감소는 분말(50%)과 마그네슘분말(10%)의 소성변형에 크게 기인한다.

Fig. 11은 성형압력에 따른 축 방향 강도시험의 결과를 보여준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 압축성형압력은 브리켓의 축 강도에 큰 영향을 미친다. 압축압력이 100~600 MPa로 증가할 때 축강도 역시 연속적으로 20 MPa에서 160 MPa까지 증가한다. 축 강도에 관한 압축압력의 중요한 영향인자는 브리켓의 조성과 관련이 있어서 60%(10%Mg-50%Fe)를 점유하고 있는 소성변형 재료들은 브리켓의 내구성에 매우 중요한 요소이다.

4. 결 론

주철의 인몰드 용탕 처리를 위한 무점결제 용탕 처리 브리켓의 성형 및 용탕과의 반응에 의한 분해시험결과 다음과 같

은 결론을 얻었다.

1) 브리켓의 마그네슘 함유량이 증가하면 기공도는 줄어들며 마그네슘 함량이 4~10%범위에서 마그네슘함량이 증가할수록 분해시간은 증가하였다.

2) 5%인 CaF_2 플럭스를 첨가하였을 때 그 효과가 가장 좋았다.

3) 최적화된 용탕처리제의 조성은 10%Mg-5% CaF_2 -35% BMA-50%Fe인 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] Yoshida Toshiki : Foundry Engineering, Vol. 68 (1996) 858-864.
 [2] Yoshida Toshiki : Foundry Engineering, Vol. 69 (1997) 491-498.
 [3] S. B. Kwon, H. W. Kwon, W. S. Nam : Korea Founder

- Journal, Vol. 25 No.2 (2005), 102-108.
 [4] Kowate Toshinori : Foundry Engineering, Vol. 71 (1999) 233-238.
 [5] Japan Casting Association : Research Report, Vol. 63 (1993) 118-124.
 [6] A. Bedolla : AFS Trans, Vol. 105 (1997), 714-722.
 [7] R. B. Gundlach : AFS Trans, Vol. 105 (1997), 219-228.
 [8] Y. S. Lerner : Modern Casting, Vol. 89 (June 1999), 37-40.
 [9] M. I. Onsoien : AFS Trans, Vol. 105 (1997), 147-152.
 [10] Loper, Jr. : US PATENT 07081150, (2006).
 [11] Margaria; Thomas J. : US PATENT 06613119, (2003).