論 文

고크롬 백주철재 소실모형 주조시 표면 결함 발생에 미치는 모형밀도 및 감압의 영향

이규희 · 유국종 · 백응률† · 최현진 * · 이경환 *

The Effect of Mold Density and Evacuation on Surface Defect in Lost Form Casting of High Chromium Cast Irons

Kue-Hee Lee, Kook-Jong Yoo, Eung-Ryul Baek†, Hyun-Jin Choi* and Kyung-Whoan Lee*

Abstract

The effect of mold density and evacuation on surface defect of high chromium cast iron upon EPC process was investigated. Under evacuation of 0.1~0.3 atm, surface defects were carbon defect, burn on and misrun. Carbon defect was augmented by increasing mold density from 0.011 g/cm^3 to 0.03 g/cm^3 under evacuation of 0.1~0.3 atm, but carbon defect was decreased by increasing evacuation from 0.1 to 0.3 atm. Burn-on wasn't found under evacuation of 0.1 atm regardless of mold density, but burn-on was augmented by increasing evacuation from 0.2 to 0.3 atm and decreased by reducing mold density. Misrun was only found under 0.1 atm evacuation and 0.011 g/cm^3 mold density. (Received October 29, 2002)

Key words : EPC process, high chromium cast Iron, surface defect, mold density, evaluation, carbon defect, Burn-on, Misrun

1. 서 론

현대의 주조기술은 자동차 산업을 비롯한 모든 산업의 근간이 되는 기초소재 산업으로서 그 중요성을 인지하고 있으나, 3D업종의 기피, 인건비 상승, 환경문제 등으로 인하여 새로운 공법이 요구되는 실정이다. 최근 미국의 자동차 회사를 중심으로 인건비 절감과 폐주물사의 발생을 억제할 수 있어 환경 친화적인 주조기술이라는 측면에서 소실모형 주조법이 크게 주목을 받고 있다[1-9]. 소실모형 주조법 적용시 기존의 일반 주조법 보다 공정의 단순화, 주물사 재사용, 복잡한 형상의 제조 등으로 인하여 약 60%의 생산단가를 절감할 수 있으며, 미국 전체 주조산업에서는 소실모형에 의한 생산량이 매년 20%씩 증가하고 있다[10]. 그러나 생산성 및 원가적 측면에서 유리한 방법임에도 불구하고 국내에서는 모형이 연소하면서 발생하는 가스로 인해 기공발생, 탄소계결함, 표면 결함 등 기술적으로 해결해야 할 문제가 많아 현재 국내에서는 발생탄소에 대한 저항력이 큰 주철재를 중심으로 이형관 제품에 주로 적용되고 있는 실정이다. 그러므로 구조재 생산에 소실모형 주조기술을 확대 적용이 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 채광(mining and mineral)산업, 시멘트 산업, 펄프 산업, 금속가공분야에 사용되는 대표적인 내마모재인 고크롬 백주철에 소실모형 주조법을 적용시 발생되는 주조결함에 절대적인 영향을 미치는 인자인 모형의 밀도와 감압도에 따른 결함발생 정도를 관찰하고 결함발생 원인을 밝힘으로써 향후 건전한 제품을 생산하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 모형 제작

모형은 성형성이 우수한 K사의 KD200을 사용하여 예비발포 단계에서 발포비율을 적절히 조정한후 0.011,

영남대학교 재료금속공학부(Dept. of Metallurgical & Materials Engineering, yeungnam University)
*한국생산기술연구원(Korea Institute of Industrial Technology)
†E-mail : erbaek@yu.ac.kr

0.02, 0.03 g/cm^{3}의 세가지 밀도별로 성형하였다. 모형의 접착은 접착제로 인한 탄소계 결함을 최소화하고, 모형의 손상을 최소화 하기 위해 초산비닐 어멀젼을 이용하여 접착하였다. 도형재는 N사에서 판매하는 소실모형 주조용 도형재를 구입하여 물을 용매로 하여 농도를 70 보메(Baume, Be)로 고정하고 모형을 1회 침지 후 상온에서 10시간 이상 건조를 하였다. 탕구계는 그림 1에서처럼 6개의 시편을 방사형으로 부착하여 모형의 밀도와 감압도를 달리하여 모형을 제작하였다.

2.2 시편 제조

고철, 고탄소 Fe-Cr(7.6%C, 62.9%Cr), Fe-Si(75%Si), Fe-Mn(74.3%Mn)을 원하는 성분에 맞추어 장입한 후 고주파 유도로로 용해하였다. 출탕온도는 1500~1550°C로 하였으며, 호주산 7호사로 충진된 진공플레스크에 모형을 조형한 후 감압도를 0.1, 0.2, 0.3기압으로 달리하여 시편을 제조하였다. 제조한 시편의 성분은 표 1과 같다.

2.3 표면결함 및 미세조직 관찰

표면 주조결함은 거시적으로 관찰하였으며, 내부조직 및 미세조직은 시편을 수직 절단하여 미세 연마 후 에칭액 (picric acid : 1 g + HCl : 10~20 ml + Ethanol : 100 ml)으로 수초간 에칭후 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 그리고 각상의 성분은 에너지-분산형 분광법(Energy Dispersive Spectroscopy: EDS)으로 분석하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 발생결함의 종류

3.1.1 탄소 결함

그림 2(a)는 탄소에 의해 표면에 발생된 표면결함을 나타낸 것이고, 그림 2(b)는 결함의 단면을 SEM으로 관찰한 것이다. 그림 2(b)에서 A로 표시된 부분을 EDS로 분석해 본 결과 탄소성분이 80% 정도 검출되었다. 이는 모형의 분해 생성물 중의 카본블랙(Carbon black)성분이 도형막을 통해 배출되지 않고 모형의 상단부분에서, 일부 내부로 혼입이 일어나고, 일부 응집

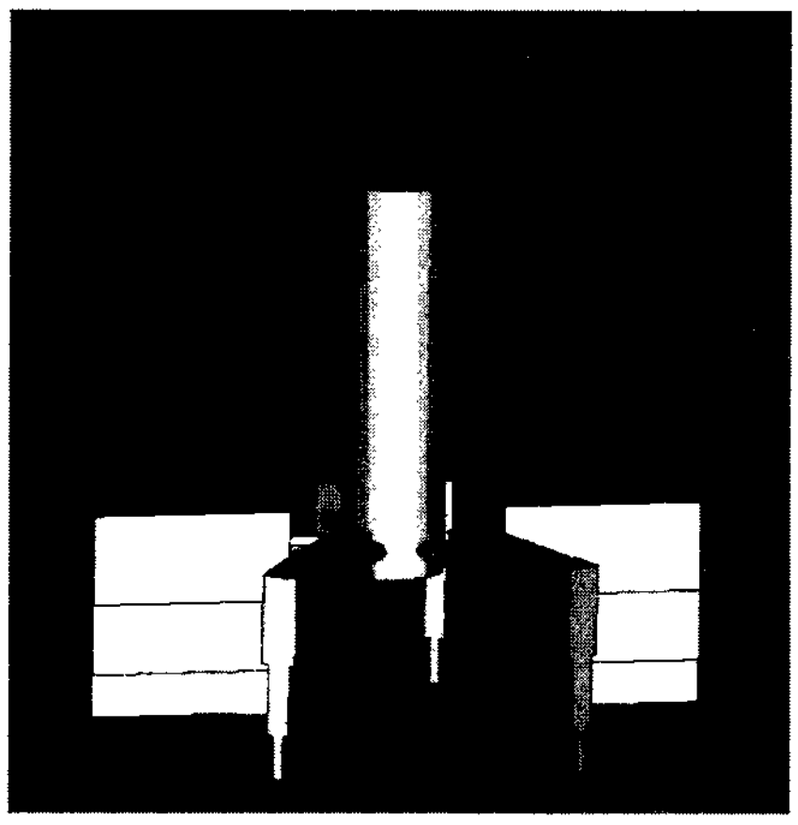
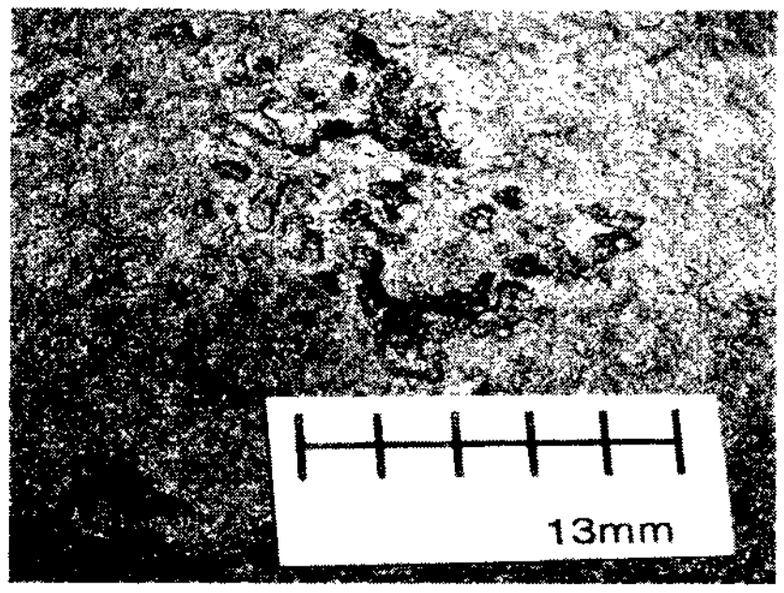
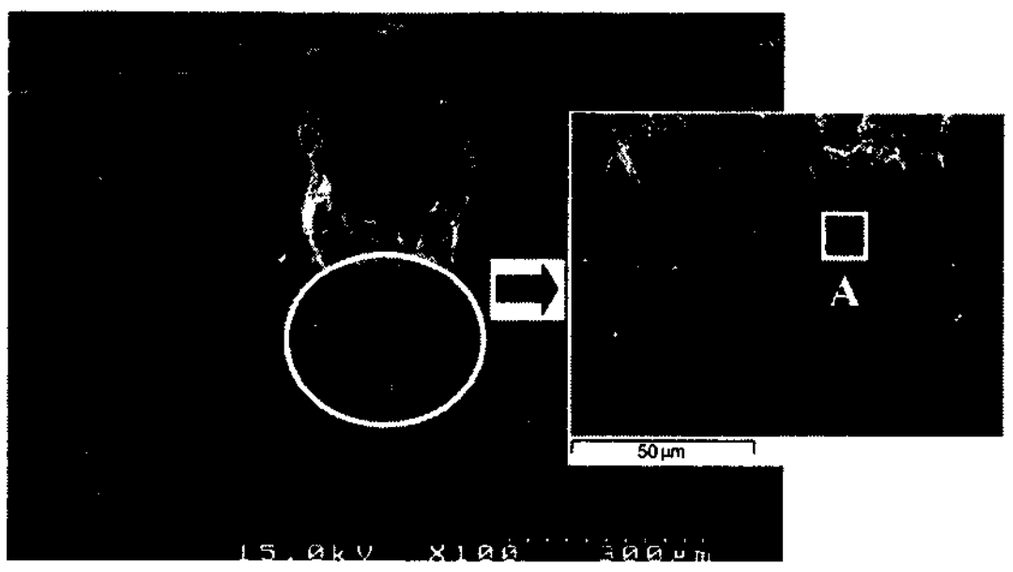


Fig. 1. Schematic diagram of the gating system



(a) surface

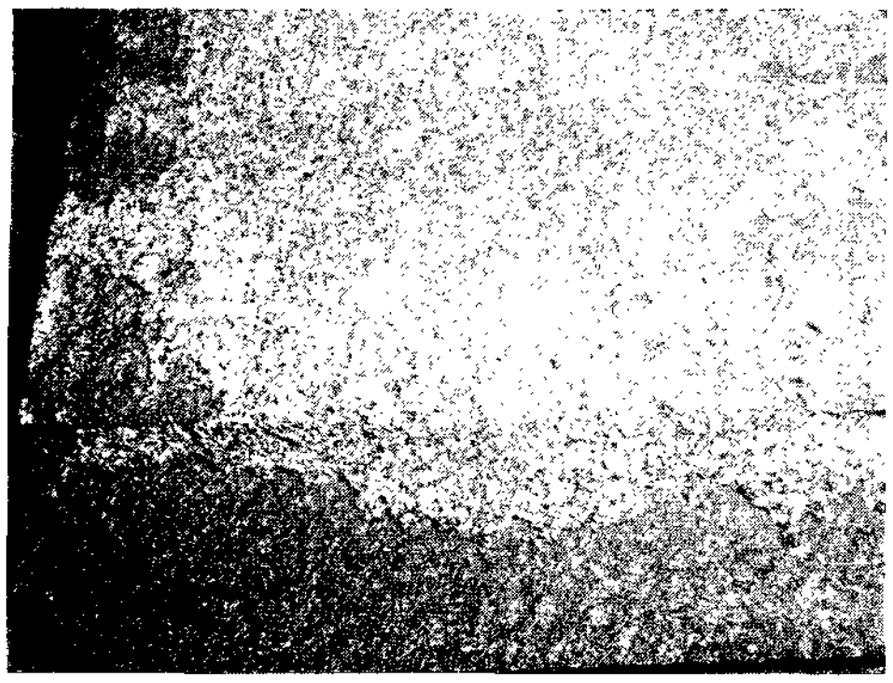


(b) cross-section

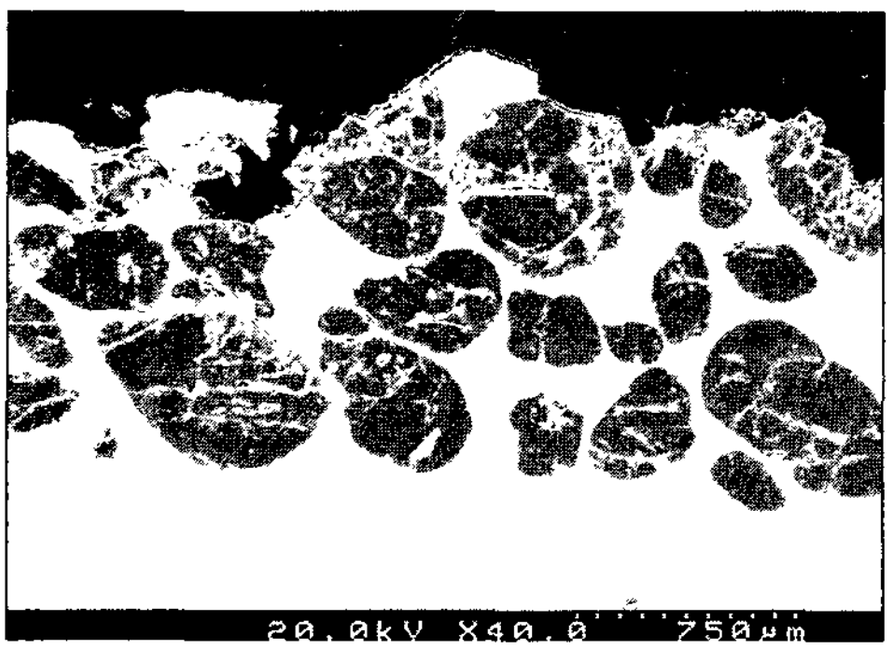
Fig. 2. Typical shape of carbon defect.

Table 1. Chemical composition of the specimen(%wt)

Specimen \ Element(wt.%)	C	Si	Mn	S	P	Cr	Fe
H-C	2.90	0.44	0.18	0.02	0.02	28.45	Bal.



(a) surface



(b) cross-section

Fig. 3. Typical shape of burn-on.

되어 기공의 형태의 결함으로 발생한 것으로 판단된다.

3.1.2 주물사 소착 및 미충진 결함

그림 3은 주물사 소착결함이 발생된 부분(그림 3(a))과 주물사 소착이 발생한 면의 단면(그림 3(b))을 보여주는 것이다. 주물사가 표면에서 2 mm까지 분포하고 있으며, 금속과 주물사가 혼합되어 있음을 알 수 있다. 이는 도형막의 균열로 인하여 주물사가 내부로 침투하여 발생한 것으로 보인다. 즉, 도형막을 지지해주는 내압이 낮아지게 되면 도형막의 균열을 발생시켜 주물사의 소착이 발생된다. 만약, 발생가스로 인한 배압이 충분하면 용탕의 주입이 완료될 때까지 도형막이 붕괴되지 않고 원래의 모양을 유지하여 주물사 소착 및 혼입이 발생되지 않을 것이다.

그림 4는 미충진 결함의 대표적인 모습을 보여주는 것이다. 발생 위치는 미충진 결함이 주로 발생되는 각진 모서리 부분에서 발생되었다. 이는 모형에 비드가 덜 채워져 이 부분의 모형 밀도가 낮아 발생된 것으로 보여진다.

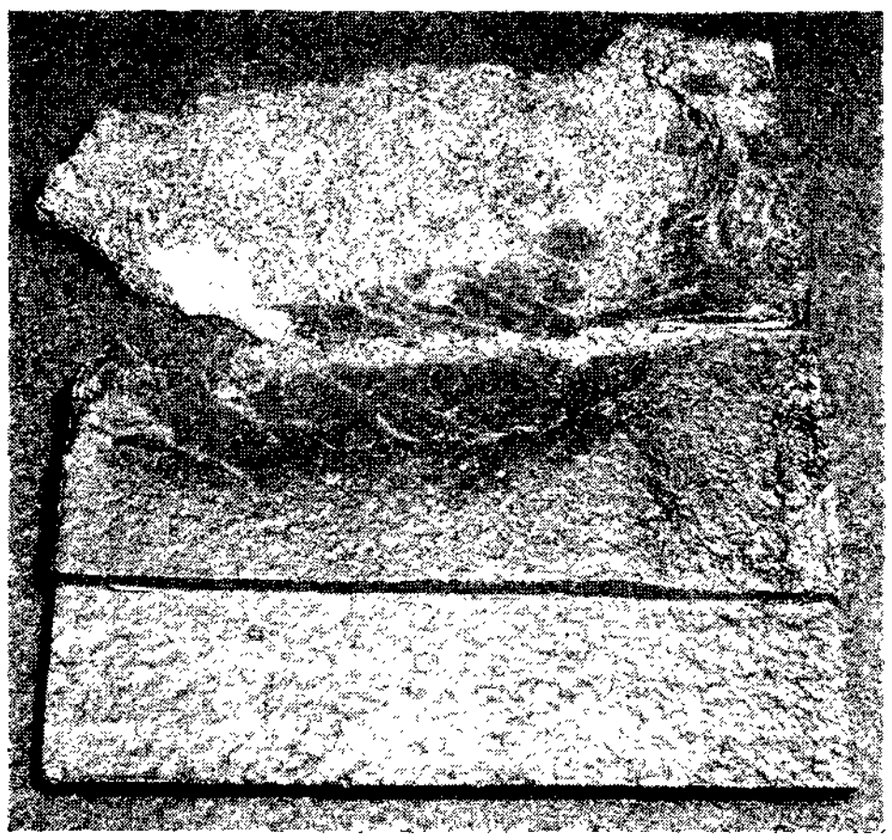


Fig. 4. Typical shape of misrun.

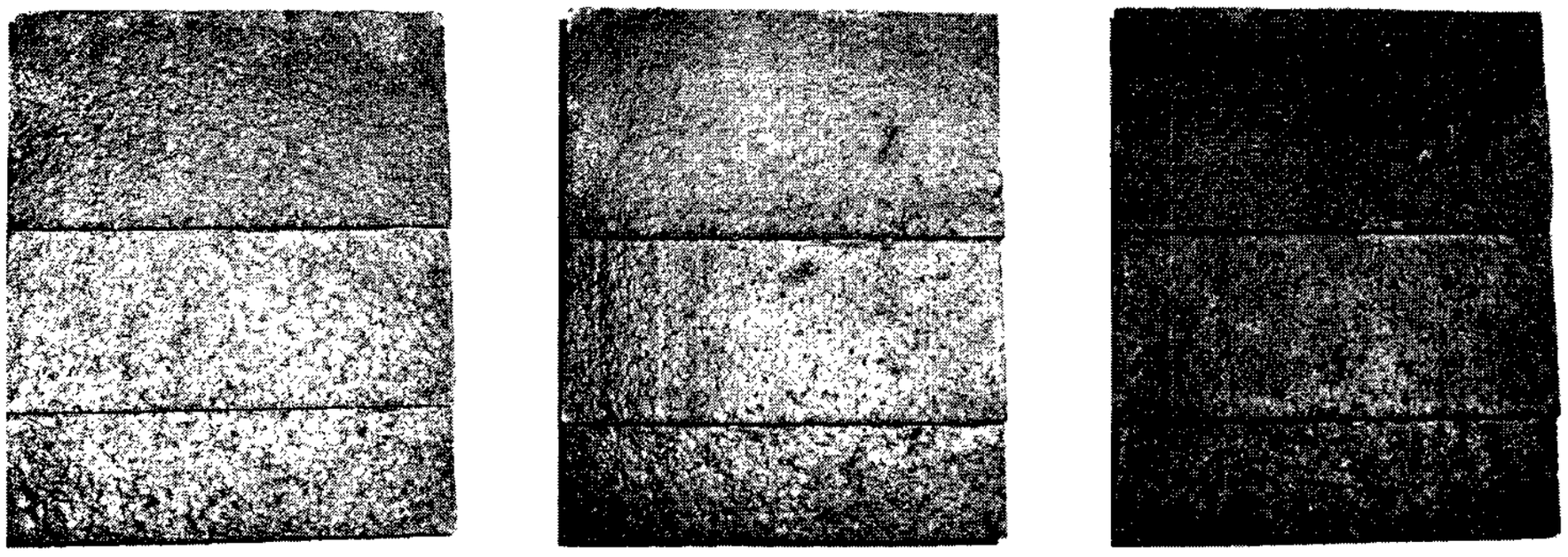
3.2 모형밀도와 감압에 따른 발생 결함의 종류 및 분포

모형밀도와 감압도에 따른 영향을 알아보기 위해 도형재 농도를 70 Baume로 고정하고 도형재를 도포하였다. 그리고 모형밀도를 0.011, 0.02, 0.03 g/cm^3 달리하여 0.1, 0.2, 0.3 atm의 감압하에서 주입하였다. 0.1 atm의 감압하에서 0.011 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 결과 미충진 결함과 탄소결함이 발생되었으며, 0.02, 0.03 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편에서는 탄소결함만이 발생되었다. 0.1, 0.3 atm의 감압하에서 0.011 g/cm^3, 0.02 g/cm^3, 0.03 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편의 경우 주물사 소착결함과 탄소결함만 발생되었다.

0.1, 0.2, 0.3 atm의 감압하에서 모형의 밀도에 따른 탄소부착결함 발생 분포는 0.011 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편은 상단부에만 결함이 분포하고 있었으며, 0.02 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한

Table 2. Chemical composition of the square A

Square \ Element(wt.%)	C	O	Si	Al	Fe	Cr
A	80.1	4.8	1.2	1.2	4.8	3.2



(a) 0.011g/cm^3　　(b) 0.02g/cm^3　　(c) 0.03g/cm^3

Fig. 5. The typical shape of manufactured specimen according to pattern density at 0.2 atmospheric pressure.

시편의 경우는 상단부와 중단부에 결함이 분포하고 있으며, 각 위치별 면적분율은 상단부 70%, 하단부 30%분포하고 있었다. 그리고 0.03 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편은 상단부, 중단부, 하단부에 결함이 분포하고 있으며, 각 위치별 면적분율은 상단부 30%, 중단부, 40%, 하단부 30% 분포하고 있었다. 이러한 탄소결함의 발생분포 거동은 고온의 용탕과 접촉한 모형의 분해로 발생되는 탄소결함 생성물들이 시편 상단부로 이동했음을 말해주고 있다. 그리고 모형 밀도가 증가함에 따라 탄소결함 생성물의 양이 상대적으로 많아짐에 따라 시편 상단부로 부상했을 뿐만 아니라 시편의 중·하단부까지 분포된 것으로 판단된다. 그림 5에 0.2 atm의 감압하에서 각 모형밀도에 따른 제조시편의 전형적인 표면 형상을 나타내었다. 그림 5에서 모형의 밀도가 0.011 g/cm^{3}인 경우에는 모형의 비드형상이 그대로 시편 표면에 나타남을 알 수 있으며, 모형의 밀도가 0.02, 0.03 g/cm^{3}으로 증가할수록 비드직경이 작아지고 시편표면이 양호함을 확인 할 수 있다. 또한 시편의 두께가 두꺼운 부분이 얇은 부분보다 시편 표면이 양호하였다. 이는 모형을 제작할 때 얇은 부분이 두꺼운 부분보다 비드입자의 충진율이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 모형밀도와 감압에 따른 발생 결함의 정도

그림 6은 감압도와 모형밀도에 따른 발생결함의 정량적인 양을 보여준다. 그림 6을 살펴보면 모든 감압조건에서 모형밀도 0.011 g/cm^{3}에서 0.03 g/cm^{3}로 증가함에 따라 탄소결함은 증가했다. 이는 모형밀도가 증가하면 발생 생성물이 증가하기 때문이다. 그러나 탄소결함이 감압도가 0.1에서 0.3 atm으로 증가함에 따라

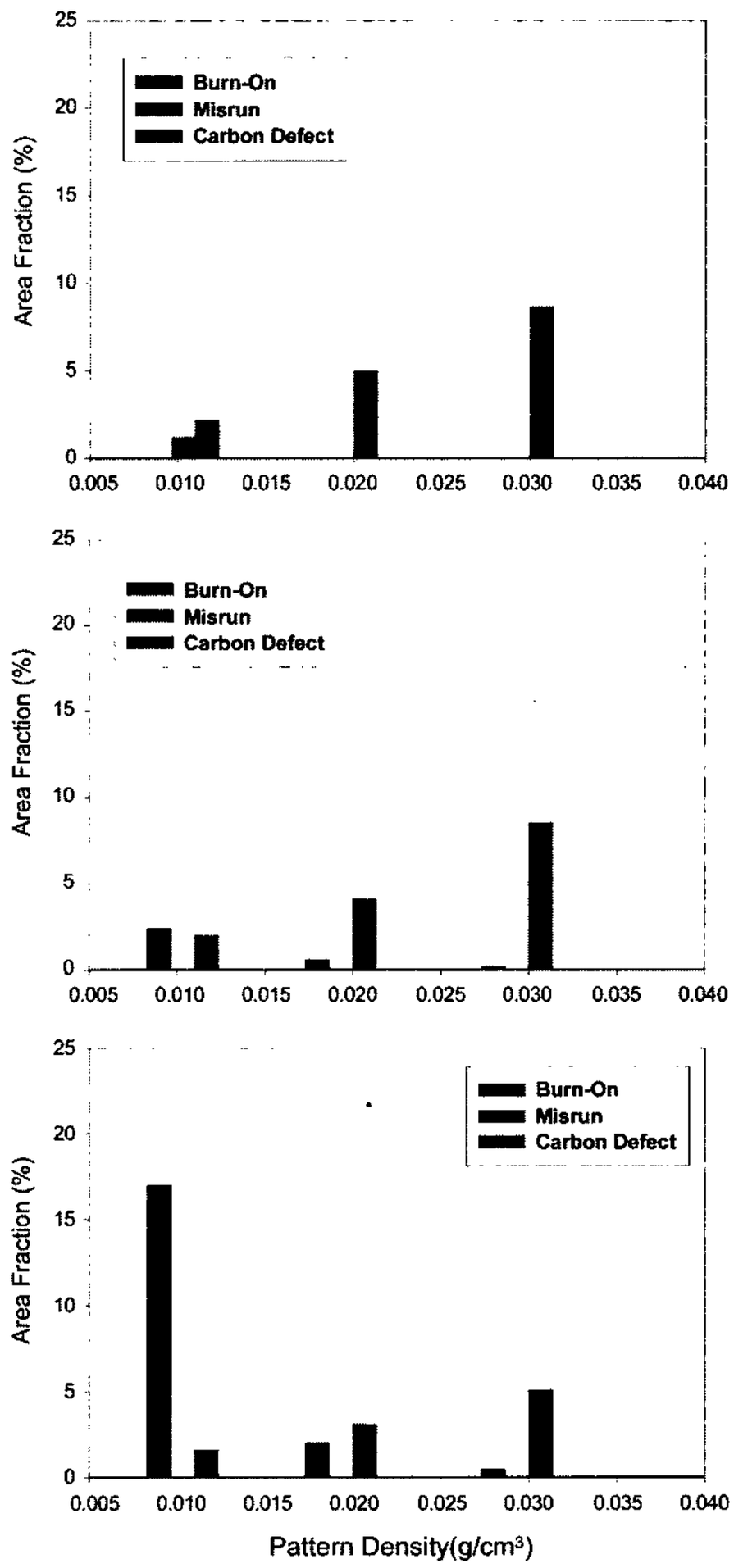


Fig. 6. Area fraction(%) of burn-on, misrun and carbon defect with variation of pattern density and evacuation. (a) -0.1 atm (b) -0.2 atm (3) -0.3 atm

결함의 정도가 감소하고 있다. 이는 모형의 분해로 인해 생성된 분해물 중 가스 성분과 Carbon Black이 감압도 증가함에 따라 도형막을 통한 많은 배출이 일어났기 때문인 것으로 판단된다. 이로부터 가스 성분뿐만 아니라 Carbon black이 동시에 도형막을 통해 배출될 수 있는 0.3 atm 감압 이상으로 하면 탄소결함을 최소로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

주물사 소착결함은 0.1 atm의 감압에서는 모형밀도가 0.011 g/cm^{3}에서 0.03 g/cm^{3}까지 변하여도 어느 조건에서도 발생하지 않는다. 이는 발생가스로 인한 배압이 충분하여 도형막이 붕괴되지 않고 용탕의 주입이 완료될 때까지 도형막이 원래의 모양을 유지된 것으로 판단된다. 그러나 감압도가 증가할수록 주물사 소착은 동일 모형 밀도를 기준으로 살펴볼 때 증가하고 모형 밀도가 증가할수록 감소하였다. 그림 6을 살펴보면 0.2 atm의 감압하에서는 모형밀도가 0.011 g/cm^{3}에서 0.03 g/cm^{3}로 증가함에 따라 주물사 소착은 2.4%에서 0.2%로 감소하였으며 0.3 atm의 감압하에서는 모형밀도가 0.011 g/cm^{3}에서 0.03 g/cm^{3}로 증가함에 따라 주물사 소착은 17%에서 0.5%로 감소하였다. 모형밀도가 낮을수록 주물사 소착이 많이 발생하였는데 이는 발생가스의 양이 상대적으로 작아 도형막을 지지해주는 내압이 낮아지게 되고, 이는 도형막에 보다 많은 균열을 발생시켜 이로 인해 주물사 소착 양은 증가하는 것으로 보인다. 이로부터 주물사 소착 결함을 줄이기 위해서는 모형 밀도를 높이는 것이 효과적이라 판단된다.

미충진 결함의 경우에는 0.1 atm의 감압에서 모형밀도가 0.011 g/cm^{3}인 조건에서만 1% 발생하였으며 그 이외의 모든 감압조건에서는 발생되지 않았다. 이는 고크롬 제조시 미충진 결함은 거의 발생하지 않을 것이라는 것을 보여주는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 소실모형주조법을 고크롬 백주철의 제조에 적용하고자 하였다. 도형재 농도를 70Baume로 고정하고 모형의 밀도를 0.011, 0.02, 0.03 g/cm^{3}로 변화를 달리하여 0.1, 0.2, 0.3 atm의 감압하에서 주입 후 시편을 제조하여 결함을 관찰한 결과 다음과 같다.

1. 0.1 atm의 감압하에서 0.011 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 결과 미충진 결함과 탄소결함이 발생되었으며, 0.02, 0.03 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편의 경우 탄소결함만 발생되었다. 0.2 atm, 0.3 atm의 감압하에서 0.011, 0.02, 0.03 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 모형에 주입한 시편의 경우 주물사 소착결함과 탄소 결함만 발생되었다.

2. 탄소 결함은 모든 감압조건에서 모형밀도 0.011 g/cm^3 에서 0.03 g/cm^{3}로 증가함에 따라 발생량이 증가하였으며, 발생 분포 또한 상단부 표면에서만 발생하던 것이 시편 전면으로 확대되었다. 그러나 감압도가 0.1 atm에서 0.3 atm으로 증가함에 따라 탄소결함의 정도는 감소하였다.

3. 주물사 소착결함은 0.1 atm의 감압에서는 어떤 모형 밀도에서도 발생하지 않았다. 그러나 모형 밀도가 동일 할 때 감압도가 증가할 수록 주물사 소착은 증가하고, 모형 밀도가 증가할수록 감소하였다. 이러한 사실로부터 주물사 소착 결함은 모형 밀도를 증가시킴으로써 방지 할 수 있을 것이다.

4. 미충진 결함의 경우에는 0.1 atm의 감압에서 모형밀도가 0.011 g/cm^{3}인 조건에서만 1% 발생하였으며 그 이외의 모든 조건에서는 발생되지 않았다.

후 기

본 연구는 2001년도 한국생산기술연구원 청정생산기술사업비의 지원에 의하여 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] J. Reichert : Lost Form Technology and Applications Conference Proceeding, Akron, "Lost Form Application, the Profile of Leader", 1995, 11-13.
[2] R. Bailey : MOD. CAST., "Understanding the Evaporative Pattern Casting Process(EPC)", 1982, 58-61.
[3] S. S. S Abayarathna, H. L Tsai : AFS Trans., "Modeling of Evaporative Pattern Process, Part II : Determination of Possible Carbon Pickup" , 97, 1989, 645-652.
[4] A. I. Kobzar, E. G Ivanyuk : Translation from Liteinoe Proizodstvo, " Thermal Degradation Products of Foundry Famed Polystyrene" 7, 1975, 31-32.
[5] N. Moll, D. Johnson : AFS Evaporative Form Casting Technology II Conference, "Fliminate the Lustrous Carbon Defect with a New Moldable Form", (Nov. 12-13, 1986).
[6] E. H. Niemann : AFS Trans., "Expandable Polystyrene Pattern Material for the Lost Form Process" 33, 1988, 793-798.
[7] R. S. Yang, J. H. Huang : J. of Chaniese Foundrymen's Association, 23, 1997, 1-4.

[8] R. B. Ballmann : AFS Trans., "Assembly and Coating of Polystyrene Form Patterns for the Evaporative Pattern Casting Process", 96, 1988, 465-470.
[9] J. Fu, H. L. Tsai, D. R. Askeland : AFS Trans., " Effect of Vent-Holes in Patterns on Filling Process and Casting Quality Using the Evaporative Pattern Process", 99, 1991, 305-311.
[10] H. E. Littleton, C. E. Bates : AFS Trans., "Technological Developments and Worldwide Market Growth in Lost Form Casting Production", 109, 2001, 1557-1572.

발표논문 모집

★ The 8th Asian Foundry Congress(AFC-8)

개최일시 및 장소: 2003.10.17~22/ 태국, 방콕 Miracle Grand Convention호텔

Topic:

- Modeling and Simulation of Solidification Processes
- Mold & Pattern Making and Molding Materials
- Solidification and Properties of Ferrous Castings
- Solidification and Properties of Non-ferrous Castings
- Manufacturing Process and Technique
- Processes and Productivity Improvement in Foundry Industry
- Environment and Manufacturing Innovation in Foundry

개요제출: 2003. 2. 28일까지

- 언어 및 분량: 영어, 300단어 이내

논문제출: 2003. 7. 31까지

연락처

The organizing committee c/o
Asst. Prof. Paritud Bhundubanyong
119/49 Moo 8, 6th Fl., Pornchai Bldg., Bangna-Trad Rd.
Bangna, Bankok 10260 THAILAND
Tel: 66-2746-9156 Fax: 66-2746-9157
Email: afc@thaifoundry.com.
http://www.thaifoundry.com