
 논문

알루미늄 중력주조용 내구성 도형제의 도형조건에 따른 내마모 및 내열특성 연구

김억수* · 남궁정** · 박진하 · 이광학

울산대학교 첨단소재공학부

* 한국생산기술연구원

** 포항산업과학연구원

A Study on the Wear and Heat Resistance Properties of Durable Moldwash Conditions for Al Gravity Die Casting According to Mold Washing Process Condition

Eok-Soo Kim*, Jung NamGung**, Jin-Ha Park, Kwang-Hak Lee

School of Materials Science & Engineering, University of Ulsan

* Korea Institute of Industrial Technology

** Research Institute of Industrial Science & Technology

Abstract

This study has been carried out to investigate the wear and heat resistant properties of durable moldwash agent for Al gravity casting according to mold washing process conditions. The wear properties of coated specimen were performed by sliding wear testing machine and heat resistance were evaluated by measuring the loss of coated moldwash agent during emerging of coated specimen in Al melts. During testing, experimental variables were mold surface temperature, moldwash agent/distilled wear, and additive concentrations. The lower additive concentration and mold temperature caused the smooth surface roughness of coated specimen, It was found that the specimen coated with moldwash/water ratio 1:3, additive concentration 9wt% and mold temperature higher than 200 °C showed superior wear and heat treatment. Also, these results were supported by fluidity test.

Key words : Aluminum, Gravity casting, Durable moldwash, Wear resistance, Heat resistance.

(Received August 14, 2008 ; Accepted September 19, 2008)

1. 서 론

현재 알루미늄 재질의 자동차 파워 트레인 부품은 대부분 주조공정에 의하여 제조되고 있으며 주조품 결함 발생을 저감, 제품 회수율향상, 생산성 향상, 공해물질 발생량 저감 및 처리 비용저감 등 시장과 고객의 품질향상과 더불어 원가절감압력에 부담이 빠르고 심하게 가중되는 추세에 있다.

알루미늄합금의 주탕온도가 700 °C전후로 낮아 금형에 의한 중력주조가 널리 쓰이고 있는데 이러한 금형주조법은 사형주조법과 비교하여 환경의 개선, 기능인력의 요구저감, 후처리공정의 간소화, 회수율의 향상, 자동화의 용이성, 투자비의 절감 등 여러 가지 장점들이 있다. 그러나 주형이 금속이기 때문에 사형보다 자유도 면에서 제약이 따른다. 즉 탕구, 탕도, 압탕 등의 위치가 모두 분할면이나 추출 가능한 형상으로 제약을 받기 때문이다. 또한 사형과 달리 열전도가 높아 용탕의 온도저하가 급속하여 용탕의 점성, 표면장력이 상승하게 되어 캐비티(cavity)의 충전성이 저하되기 쉽다[1,2].

금형주물은 사형주조에 비해 용탕의 냉각온도가 빠르고 결정

립이 미세하게 됨과 동시에 함유가스의 고용량이 증가하고 핀홀이 생기기 어렵기 때문에 기계적 성질이 우수하다. 그러나 주물의 형상, 주조방안에 따라서는 그 자체로서는 지향성 응고를 하는 것이 곤란한 경우가 많아 금형을 공랭 또는 수냉을 이용해서 온도 제어를 하거나 도형제의 재질이나 막 두께를 바꿈으로써 냉각속도를 조정한다. 경우에 따라서는 단열재에 의해 금형의 보온 등을 조합시켜 압탕 부분이 마지막에 응고하도록 연구해야 한다. 특히 냉각속도에 있어서는 금형온도 보다 도형의 재질, 도형두께가 큰 영향을 미친다[3-5].

도형의 목적은 금형의 금랭효과를 완화하고 금형과 용탕의 직접접촉을 피하고 열적·화학적으로도 안정되게 하여 제품 각부에서 균일한 주물표면을 얻게 하는데 있다. 도형제 도포 방법에 따라 금형냉각속도에 차이가 나며, 이로 인해 제품 품질에 막대한 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 도형제의 특성 및 도포 방법의 최적화 및 표준화가 필수적이다[6-9]. 따라서 본 연구에서는 일반적인 중력주조용 금형에 적용하고 있는 도형제의 특성 및 적용 기술적 문제점을 분석하고 최종 알루미늄 중력주조 제품의 최적 응고모델에서 요구하는 도형제의 물

†E-mail : osgim@kitech.re.kr

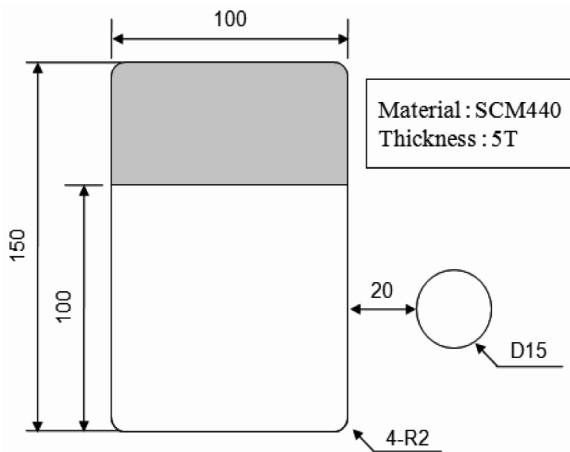


Fig. 1. Schematic of the moldwash test specimens.

성을 도출하여 최적의 내구성 도형제 도형 조건을 확립하고자 한다.

2. 실험방법

도형제의 성분은 여러 가지 산화분말 및 이들 산화분말을 결합하는 결합제 성분과 산화물 입자의 분산 역할을 하는 용매성분으로 구성된다. 이에 본 연구에서는 Al_2O_3 , SiO_2 성분으로 구성된 규산알루미늄을 도형제로 사용하였으며, 첨가제로 규산소다를 첨가하였고, 도형제의 분산 및 유동성을 확보하기 위하여 증류수를 용매로 사용하였다.

도형제 코팅은 코팅시편의 표면온도를 기준으로 각각 160 °C, 200 °C, 240 °C 조건으로 유지하였으며, 코팅 중 시험편의 온도를 일정하게 유지하기 위해 시험편 4개를 동시에 코팅할 수 있는 포켓형의 시편예열 금형을 사용하였다. 도형제와 용매제의 배합비(DR)를 1:2, 1:3 조건으로 변화시키며 도형제에 첨가되는 첨가제 농도(AC)를 각각 3wt.%, 9wt.% 조건으로 제조하였고, 도형은 스프레이방법으로 코팅두께는 코팅 중 접촉식 초음파 두께측정기를 이용하여 약 150~200 μm 두께를 갖도록 시편을 제작하였다.

도형제 내구성 평가시험용 도형제 코팅시편의 모재는 알루미늄용 중력주조 금형에 일반적으로 사용되는 재질과 동일한 SCM440 재질을 사용하여 W100×L150×T5mm 시편 크기로 밀링 및 연삭가공을 실시하여 미려한 표면형상으로 준비하고 실제 코팅되는 면적은 양면 중 한쪽면에 L100×W100mm 면적으로 코팅하는 것으로 준비하였다. 또한 코팅층의 표면성상을 관찰하기 위하여 두께 5mm 직경 15mm 원형모재를 준비하였고, 내구성시험용 시편과 동일한 조건으로 코팅을 적용하였다. Fig. 1에 도형제 코팅시편 모재형상 및 치수를 나타내었다.

내열 내구성 평가시험은 사전에 도형제 코팅된 시편을 사용하여 표면온도를 160 °C, 200 °C, 240 °C로 변화하고, 용탕온도 조건을 680 °C, 720 °C로 유지된 용탕에 1시간 동안 침적하여 도형제 유실량을 측정하였다. 침적용 용탕재료는 AC3AM 합금을 사용하여 약 5kg/ch 용해하였고, 도형제 코팅시편의 여백면에 BN(Boron Nitride) 코팅하여 알루미늄 용탕

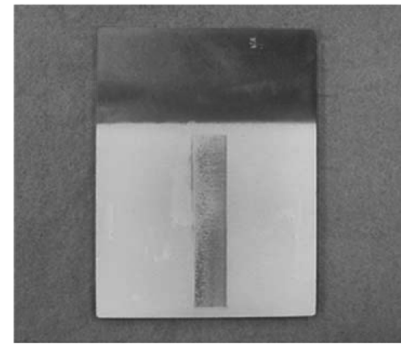
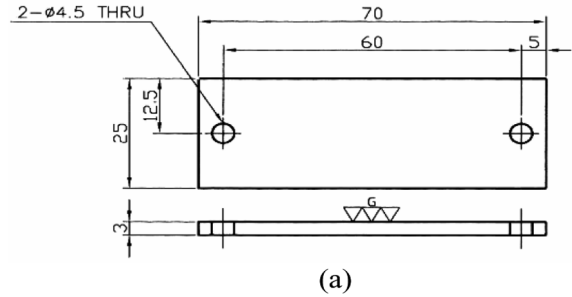


Fig. 2. (a) Schematic of the wear test specimens, (b) photograph showing the specimen after wear test.

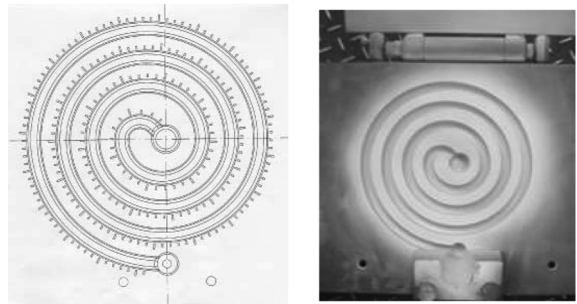


Fig. 3. Comparison system of thermal insulation by the fluidity test.

이 코팅시편 여백면에 부착되는 현상을 방지하였다. 상온 마찰마모 내구성 평가시험은 수평형 왕복 마찰마모시험기를 사용하여 평가하였다. 사전에 도형제가 코팅된 시편에 아래 Fig. 2(a)도면으로 코팅시편과 동일한 재질인 SCM440을 사용하여 상대마모재를 제작하였고, 하중 2kg, 왕복주기 2Hz, 마모면 13mm(왕복거리10mm+상대 마모재 두께3mm)의 조건으로 10분 동안 마모시험을 실시하였다. 각각의 도형제 코팅시편의 마모량은 시편의 초기무게와 마모시험 후 감소된 무게 감량을 측정하여 도형제 코팅피막의 상대적 내구성 상대평가 지표로 이용하였다. Fig. 2(b)에 마모시험 후 코팅 시편의 사진을 나타내었다.

도형제 피막의 보온성 평가시험은 Fig. 3에 나타난 바와 같은 구조로 시편 예열 금형을 활용하여 금형의 표면에 폭 10mm, 깊이 5mm의 나선형 홈을 형성시켜 제작하였으며, 200 °C에서 예열된 금형 홈의 표면에 도형제를 약 200 μm 정도로 일정한 두께 범위로 코팅하고 약 680 °C의 AC3AM 용탕을 주입하여 유동거리를 비교 평가하였다.

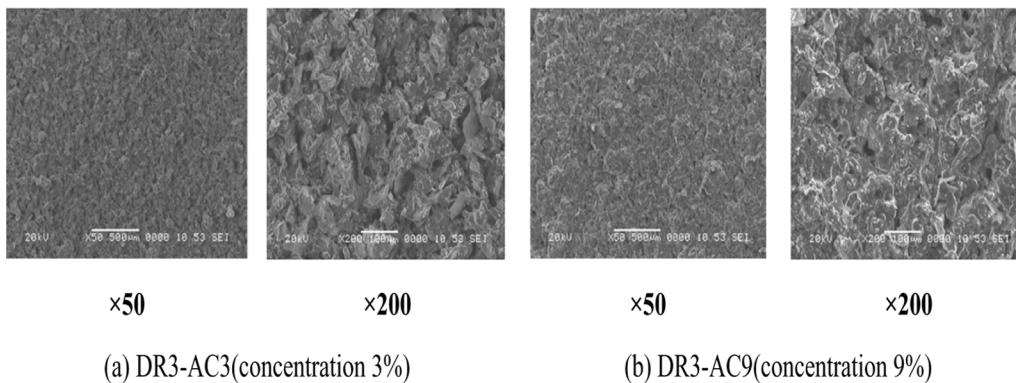


Fig. 4. Photograph showing coated surface with the variation of additive concentration (Moldwash/water ratio 1:3, coating temperature 160 °C)

3. 결과 및 고찰

3.1. 도형제 코팅 조건별 표면성상 관찰 결과

도형제 코팅조건 변화에서 원형시편을 이용한 도형제 코팅층을 전자현미경을 이용하여 표면성상을 비교 관찰한 결과이다.

Fig. 4는 코팅온도는 다소 낮은 160 °C로 동일하게 유지하고 도형제와 용매제의 배합비를 1:3으로 고정하면서 단지 도형제 구성 성분중 첨가제(규산소다)의 농도를 각각 3%(DR3-AC3), 9%(DR3-AC9) 변화시켜 도형된 표면의 성상을 전자현미경으로 관찰한 사진이다. 첨가제 농도가 증가된 조건의 코팅층은 표면성상이 다소 거칠어지며 외관상 내부 입자들 간의 견고성이 증가되는 양상의 성상을 나타냄을 볼 수 있었다.

Fig. 5는 도형제와 용매제의 배합비를 1:3으로 고정하고 첨가제(규산소다)의 농도를 9% (DR3-AC9)로 일정하게 유지하면서 금형 예열된 코팅온도를 각각 160 °C, 200 °C, 240 °C로 변화시켜 코팅온도 변화조건에 따른 도형된 표면의 성상을 전자현미경으로 관찰한 사진이다. 코팅온도가 낮은 조건에서는 도형된 코팅 피막의 표면성상이 비교적 미려한 성상을 나타내고 코팅온도가 증가 될수록 다소 거칠고 기공을 함유하는 코팅표면 성상을 나타내고 있으나 견고성은 코팅온도가 증가하는 조건에서 강한 성상을 나타냄을 볼 수 있었다. 따라서 견고성이 우수하여 코팅 피막의 내구성 향상에 기여하고 다소 거친 표면성상과 내부 미세한 기공의 함유는 도형제 층이 주조공정 중 단열성능을 발휘하는데 보강적 효과로 작용할 것으로 사료된다.

Fig. 6은 도형제의 내구성 향상을 목적으로 첨가제 농도를 향상시킨 도형제(HJ05)의 금형 예열된 코팅온도를 각각 160 °C, 200 °C, 240 °C로 변화시켜 코팅온도 변화조건에 따른 도형된 표면의 성상을 전자현미경으로 관찰한 사진이다.

낮은 온도의 코팅조건에서 도형제 입자가 부분적으로 굵은 입자를 형성하며 유약해 보이지만 높은 온도의 코팅조건에는 표면 거칠기 미세 균일도가 증가하고 강건한 성상구조를 나타냄을 볼 수 있다.

3.2. 도형제 내열 내구성 평가결과

도형제의 배합비, 첨가제 농도와 같은 구성인자 변화 및 금형 예열온도와 같은 도형제 코팅조건 변화에 따라 제작된

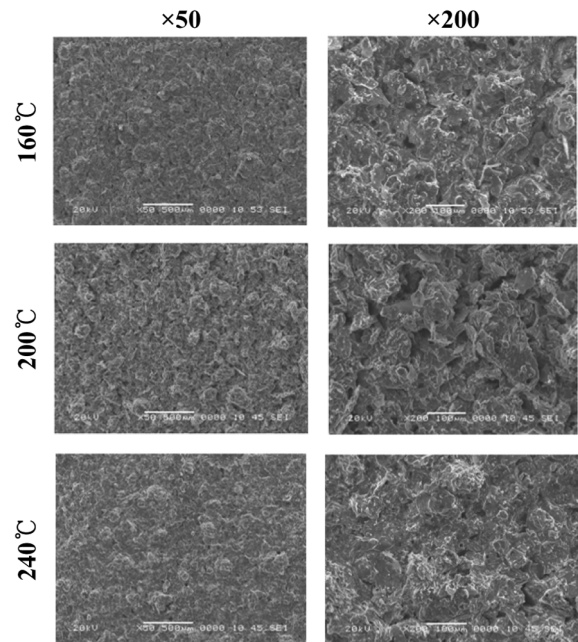


Fig. 5. Photograph showing coated surface with the variation of coating temperature (Moldwash/water ratio 1:3, additive concentration 9%).

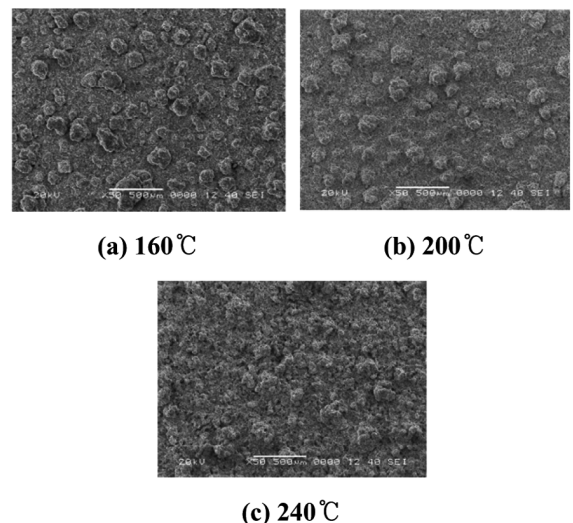


Fig. 6. Photograph showing coated surface with the variation of coating temperature (Durable moldwash, HJ05).

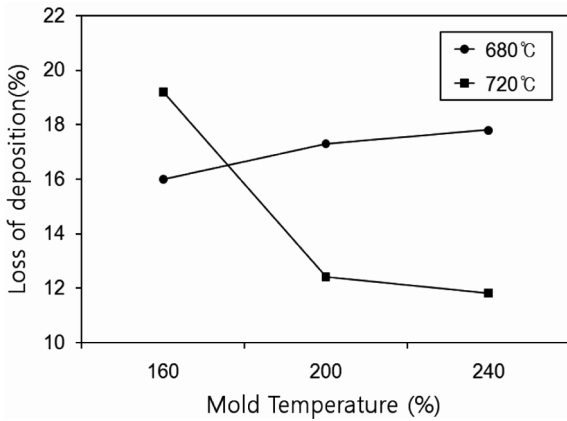


Fig. 7. Loss of deposition with the variation of coating temperature (Durable moldwash, HJ05).

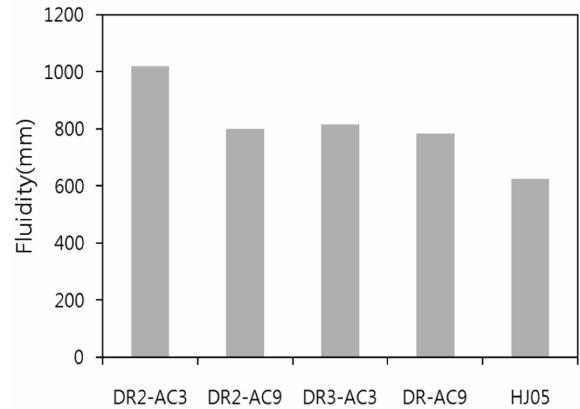


Fig. 9. Thermal insulation with the variation of coating condition (Fluidity test).

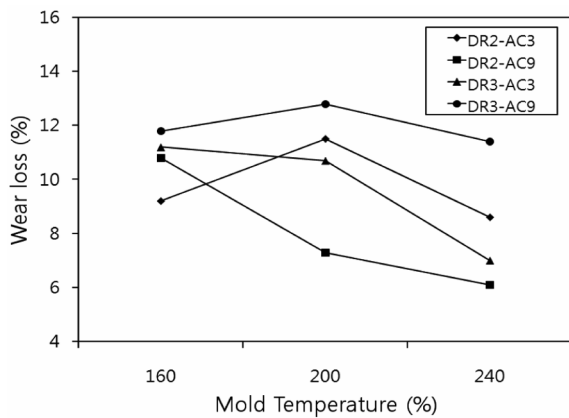


Fig. 8. Wear loss with the variation of coating condition (RT).

시편에 대하여 용탕침적 실험을 통하여 도형제 피막의 손실량을 중량감소량으로 평가하는 실험을 실시하였다.

도형제 성분 중 내구성을 향상시키는 성분인 규산소다를 다량 첨가하여 자체 제조하여 사용되고 있는 HJ05 도형제에 대하여 현장작업 공정시 변동요인이 가장 많이 발생할 수 있는 피막의 형성 조건 시 영향을 미치는 코팅되는 금형예열온도에 따른 용탕침적 내열 내구성을 평가하였다. Fig. 7은 코팅 금형예열 온도와 용탕침적온도에 따른 도형제 피막의 손실정도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 용탕침적온도가 정상적인 용탕용도범위인 약 680 °C 내외의 조건일 경우 도형 코팅 시 금형의 예열온도가 200 °C 이상 높은 조건에서 도형제 코팅피막의 용탕침적 손실량이 적어 내열 내구성이 우수한 조건으로 평가된다. 그러나 용탕의 침적온도 과도하게 높은 720 °C 조건에서는 오히려 도형제 피막의 용탕침적 손실량이 코팅금형 예열온도가 높은 경우 다소 높이는 경향을 보이고 있으므로 첨가제 농도가 높은 도형제 피막의 조건에서는 용탕온도가 높은 주조공정 조건에서는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

3.3. 도형제 피막 상온 내마모성 평가

중력주조금형에 코팅된 도형제 피막은 용탕의 열에 의한 열화손실 뿐만 아니라, 주형 내 용탕이 주입 될 때 용탕의 유동에 의한 표면마찰에 의한 손실, 용탕이 응고된 후 제품 취출

시 주조제품과의 표면 마찰, 뜯김이 발생할 수도 있다.

따라서, 이러한 조건을 반영하는 도형제 내구성 평가방법이 정의되어 있지 않으므로 앞서 평가한 내열 내구성 평가결과에 대한 보완적인 평가 방법으로 상온에서 상대 마모제에 대한 급형 마모 특성을 평가하여 참고하도록 하였다. Fig. 8은 배합비, 첨가제 농도와 같은 도형제 구성인자와 도형제 코팅 시 금형예열온도 조건변화에 따른 마모량을 비교 측정하여 나타낸 그래프이다. 마모시험 결과 도형제의 마모량은 배합비가 낮고 첨가제의 농도가 높은 조건에서 금형의 예열온도가 높은 조건에서 상대적인 마모량이 적은 것으로 보아 우수한 내구성을 확보할 수 있는 조건임을 알 수 있다. 이러한 결과는 내열 내구성 평가 결과와도 상응하는 결과이므로 도형제의 내구성을 평가하는 방법으로 용탕침적에 의한 내열 내구성 평가방법이나 상온 마모시험에 의한 마모량 평가시험방법 모두 타당한 방법임을 알 수 있었다.

상기 내열 내구성 및 내마모성 평가를 통하여 현장 용탕 관리 온도 범위 중간온도 값 700 °C, 코팅 금형의 초기 안전관리 온도 220 °C 기준, 도형제 배합비(DR) 및 첨가제 농도(AC)에 대한 최적화 조건은 각각 배합비 1:3, 첨가제 농도 9%일 때 가장 우수한 것으로 도출 되었다.

3.4. 도형제 피막 보온성 평가

도형제의 특성은 내구성외에도 금형과 용탕사이에서 단열성능을 발휘하여 응고속도 및 냉각속도를 조절하는 기능 또한 중요하다. Fig 9는 비교적 내구성이 우수하다고 판단된 개선 도형제 조건 및 내구성 확보를 위해 첨가제의 첨가량을 높인 조건에 대한 보온성을 조건별 각각 3회 이상 측정하여 상대 비교 평가한 결과이다.

개선 도형제의 경우 배합비(DR)가 낮고 첨가제 농도(AC)가 낮을수록 유동길이가 크게 측정되어 상대적 보온성이 우수하다고 판단할 수 있다. 그러나 배합비가 높고 첨가제 농도가 높은 조건의 도형제에서 보온성(유동길이)가 다소 떨어지는 하지만 그 차이가 근소한 수준이므로 내구성이 우수한 조건의 개선 도형제의 경우 약간 감소한 보온성을 감수하고 채택할 타당성이 있다고 판단된다. 한편 첨가제의 첨가량을 증가시켜

우수한 내구성을 얻고자 제조한 HJ05의 경우 유동길이가 상대적으로 큰 차이를 보이며 가장 낮은 보온성을 나타내어 중력 주조공정에 직접적인 채택은 어려울 것으로 사료된다.

4. 결 론

알루미늄 중력주조공정에 금형의 표면에 도포되어 주입용탕과 금형과의 단열 및 이형성을 제공하는 도형제의 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 도형제의 인자에 따른 도형 표면의 성상을 관찰한 결과 배합비, 첨가제 농도, 도형 금형 온도가 낮을수록 미려한 형상을 하고 있으나 배합비가 낮고 첨가제 농도가 높을수록 금형의 온도를 상향 조정할 필요가 있다.

2) 도형제 내구성에 미치는 조건을 배합비, 첨가제 농도, 도형온도, 적용 용탕의 온도를 설정하여 도형제 코팅 조건에 따른 내열 내구성을 평가한 결과 내구성에 미치는 주 인자는 첨가제 농도이며 최적 도형제 조건은 배합비 1(도형제):3(중류수), 첨가제 농도 9%, 금형의 온도는 200 °C 이상으로 도출되었다. 또한 첨가제의 농도를 높이고 배합비를 높이며 금형의 온도를 200 °C 이상으로 높게 적용하는 조건이 도형제의 내구성 산포를 저감하여 특성의 변동성을 적게 할 수도 있다.

3) 내구성 향상조건인 도형제 및 기존 도형제의 보온성을 설계된 금형 내 용탕 유동길이를 비교 측정된 결과, 미소한 수준에서 변화하고 있으므로 보온성의 희생을 최소화하고 내구성이 향상된 도형제를 합금재질이나 제품형상에 맞게 채택할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J.Y.Park, J.C.Kim, H.B.Kim, C.O.Choi: J. Kor. Foundrymen's Soc, "Effect of Solidification Conditions on the Structure and Mechanical Properties of Al-5wt%Mg Alloy by Metallic Mold Casting", 17(1997), 237-244
- [2] S.W.Kim, D.Y.Kim, K.D.Woo, D.K.Kim: J. Kor. Foundrymen's Soc, "The Study on the Microstructures in Direct Squeeze cast and Gravity Cast of 7XXX Al Wrought Alloy", 19(1999), 47-53
- [3] H.W.Kwon: J. Kor. Foundrymen's Soc, "Mould and Core Coatings", 10(1990) 9-16
- [4] G.S.Lukaek, H.J.Heine: J. Kor. Foundrymen's Soc, "A New Comprehension of Moldwash(1)", 4(1984), 294-297
- [5] Y.S.Lee: J. Kor. Foundrymen's Soc, "A New Comprehension of Moldwash(2)" 5(1985), 46-52
- [6] Y.S.Choi, C.O.Choi: J. Kor. Foundrymen's Soc, "Effect of Mold Coatings on the Macrostructures of Cu-5% Sn Alloy", 5(1985), 19-26
- [7] H.J.Choi, Y.K.Oh, G.C.Jun, S.C.Lee, G.W.Lee: J. Kor. Foundrymen's Soc, "Effect of Refractories on Coating Material Properties in Evaporative Pattern Casting Process", 17(1997), 569-576
- [8] H.S.Kim, J.S.Shin, S.M.Lee, B.M.Moon: J. Kor. Foundrymen's Soc, "Effects of Superheat and Coating Layer on Interfacial Heat Transfer Coefficient between Copper Mold and Aluminum Melt during Solidification", 24(2004), 281-289
- [9] E.S.Kim, Y.H.Kim, Y.H.Hong: J. Industrial Technology, "The Behaviors of chill layers with temperature variation of shot sleeve in Diecasting process", 18(2008), 6-16