

금형의 온도 제어를 위한 내부 채널 가공 Fabrication of internal channels to control mold temperature

*이재철¹, 여준철², #안성훈^{1,2}

*J. C. Lee¹, J. C. Yeo², #S. H. Ahn(ahnsh@snu.ac.kr)^{1,2}

¹ 서울대학교 기계항공공학부, ² 정밀기계설계공동연구소

Key words : Cold-spray deposition, Injection mold, Channel

1. 서론

최근 다양한 시장의 요구에 따라 제품의 모델이 다양화되고 형상이 복잡해지고 있다. 또한 급변하는 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 시장의 선점이 중요하며 이를 위해 제품 개발 기간과 생산 기간의 단축은 필수적 요구사항이다. 이러한 업계의 요구는 제품의 개발 및 생산과정에서 가장 많은 시간을 요하는 금형 분야에 대한 연구로 이어지고 있다.¹

사출 금형의 온도는 금형 코어의 모든 부분에서 균일하게 제어되어야만 웰드라인(weld line)이나 소착(sticking) 등을 방지할 수 있으며, 금형품 생산에서는 제품 생산 시간을 줄이기 위한 필수적 요소이기도 하다. 따라서 사출 금형의 온도 제어는 금형 기술에서 큰 부분을 차지하고 있다.^{2,3}

본 연구에서는 저온분사적층(Cold-spray deposition)을 이용하여 사출 금형 내부에 온도 제어를 위한 채널을 가공하는 방법을 제시하였으며, 이를 통한 금형의 생산 능력 향상을 유한요소법을 통해 확인하였다.

2. 저온분사적층

용사 코팅법의 단점을 극복하기 위해 개발된 저온분사 코팅방법은 부착될 소재 미립자가 초음속의 기체 기류(supersonic gas jet)를 타고 기관에 충돌하는 원리를 이용한 코팅방법이다. 저온분사 코팅방법은 일반적으로 cold-spray 또는 kinetic-spray 라고 불리는데, 이는 상온 코팅이 가능하여 대상 소재의 물성을 유지할 수 있고 열응력을 최소화하여 소재의 변형을 줄일 수 있다. 또한 기존의 용사 코팅법은 고온 공정이므로 금속판재에 산화물이 형성되어 금속 코팅할 때 부착력이 떨어지는 반면에, 저온분사법은 산화력이 높은 구리나 알루미늄 등의 금속을 상대적으로 크게 산화시키지 않은 상태로 코팅할 수 있어 부착력이 우수하다. 300-1,200m/s 로 가속되는 미립자들이 높은 운동에너지로 재료에 충돌하여 부착된 코팅막은 높은 밀도로 적층되고 가공 경화(work hardening)를 일으켜 벌크 재료보다 더 큰 경도를 가질 수 있다는 장점이 있다. 저온 분사 코팅 방법은 빠른 시간 내에 코팅이 가능하고 다양한 재료의 분말 입자를 금속이나 폴리머, 세라믹 등에 적층할 수 있다.⁴

3. 채널 가공

기존의 채널 성형 방법은 기계가공을 통해 채널을 성형하고 금형 모재보다 용융점이 낮은 금속재료를 성형된 채널에 채운다. 금속이 채워진 채널 위에 저온분사법으로 금형 모재와 같은 재료를 적층하고 채널에 채워진 금속의 용융점만큼 온도를 주어 채워진 금속을 제거하여 채널을 생성한다.⁵

이와 같은 방법은 채워진 금속을 제거하는 공정이 복잡하고 금형에 열원을 부여하기 때문에 열응력에 노출될 수 있다.

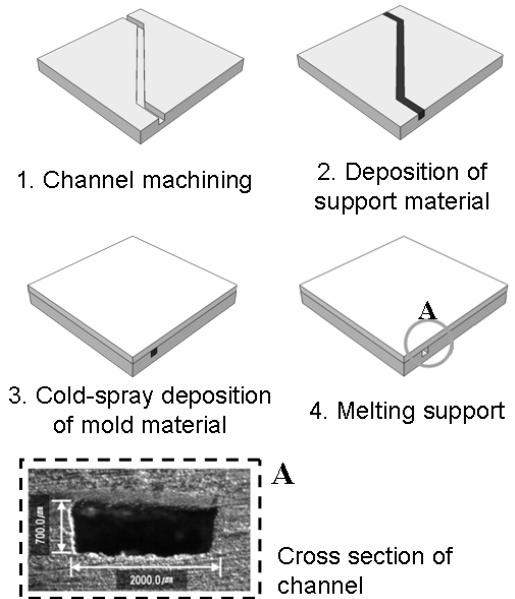


Fig. 1 Fabrication of channel using support material and cold-spray in injection mold

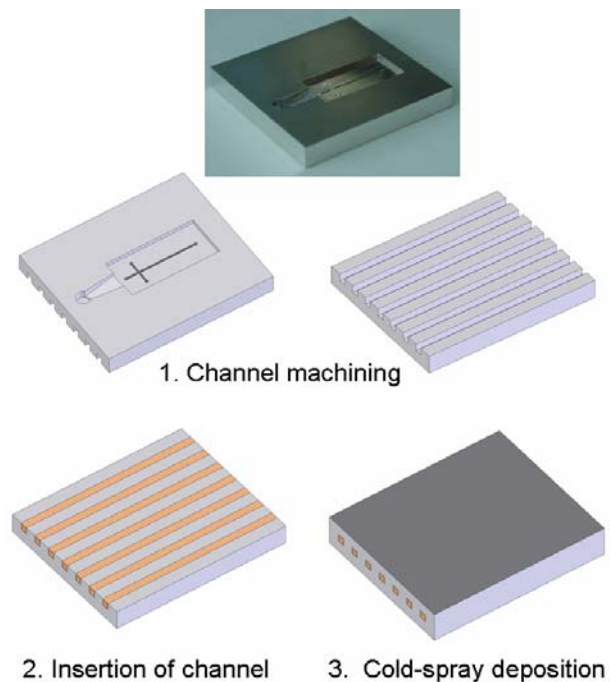


Fig. 2 Fabrication of channel using support structure and cold-spray in injection mold

따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 새로운 방법을 제시하였다. 기존의 방법에서 채널에 채워졌던 지지재료 (support material) 대신에 금형 모재와 같은 재료로 만들어진 관을 삽입하여 열을 이용한 지지재료의 제거 공정을 없애는 방법이다. 이를 통해 공정의 단순화와 열응력에 대한 안전성을 확보할 수 있다.

4. 금형의 열전달 해석

본 연구에 사용된 금형은 μ TAS (Micro Total Analysis System) 칩을 제작하는 금형이다. μ TAS 칩의 제작방법에는 폴리머 캐스팅(casting)이나 핫엠보싱(hot embossing)과 같은 복제기법(replicating technique)이 있다. 이러한 방법은 빠르고 간단한 실리콘 금형 기법이지만 실리콘 금형이 잘 깨지고 핫엠보싱 후에 폴리머와 금형이 잘 떨어지지 않는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 실리콘 금형을 금속 금형으로 대체하는 방법이 개발되었다.⁶

Al 6061-T6으로 대체된 μ TAS 칩 금형에 온도 제어용 내부 채널을 성형하여 일반 금형과의 시간에 따른 금형의 온도 변화를 유한요소법을 통해 비교 분석하였다.

열전달 해석에 사용된 조건들은 Fig. 3과 같으며, 해석 수행 후 Fig. 3의 P(P') 위치에서의 시간에 따른 금형의 온도 변화 결과는 Fig. 4와 같이 얻을 수 있었다. 여기서 A(A')는 금형에 150도의 열원을 부여했을 때의 온도 상승 구간이고, C(C')는 금형의 온도를 50도로 강제 냉각했을 때의 온도 하강 구간이며, B(B')와 D(D')는 사출과 배출이 이루어지는 구간으로 균일하게 3초씩 부여하였다.

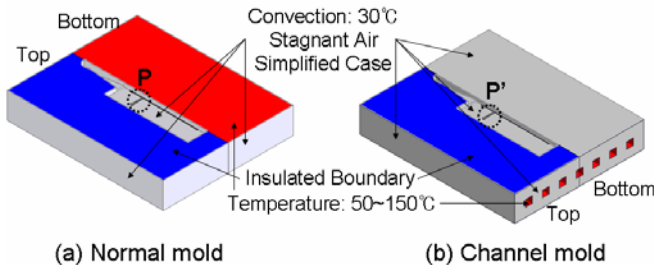


Fig. 3 Thermal road and boundary condition on thermal analysis

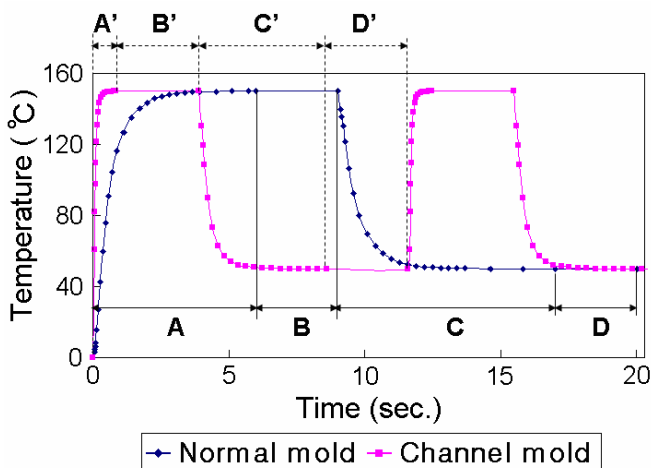


Fig. 4 Temperature history of part P and P' depend on time

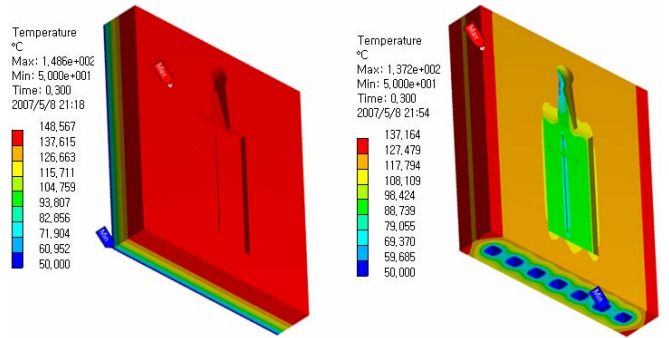


Fig. 5 Cooling temperature of injection mold at 0.3 second

일반 금형은 온도가 150도까지 상승했다고 50도까지 냉각되는 시간(하나의 금형품이 생산되는 시간)이 약 20초였다. 그러나 채널이 있는 금형은 한 주기의 소요 시간이 11.6초로 일반 금형의 약 1/2배 시간이 소요되었다. 또한 채널 금형은 일반 금형보다 전체적인 금형 온도 분포 차이가 작아서 보다 균일한 온도 제어를 수행할 수 있다 (Fig. 5).

5. 결론

본 연구에서는 저온분사적층을 이용한 새로운 채널 가공 방법을 제시하였으며, 일반 금형과 채널 금형의 온도 변화 시간을 유한요소법을 통해 확인하였다.

새로운 채널 가공 방법은 기존의 방법보다 가공 공정이 단순하고 열원을 사용하지 않기 때문에 열응력에 대한 안전성을 확보할 수 있다.

또한 채널 금형은 일반 금형보다 약 2배의 온도 제어 속도를 가질 수 있고 금형의 온도 분포 차이도 작아서 사출 제품의 품질과 생산력을 크게 향상시킬 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 서울대학교 2단계 BK21 사업에 의해 지원되었으며, 이에 감사 드립니다. 또한 서울대학교 공학연구소와 ERC (Micro Thermal System Research Center) 관계자 분들께 감사 드립니다

참고문헌

1. www.metalnet.co.kr
2. 양상식, 권태현, “사출 성형품의 금형내 잔류응력과 이형후 냉각에 의한 후변형 해석,” 대기기계학회논문집 A권, 26, 2, 340-348, 2002
3. 한규택, 구양, 김병탁, 정영득, 한성렬, “기하학적 균형을 갖춘 금형에서 발생하는 성형품의 충전 불균형에 관한 연구,” 한국박용기관학회지, 28, 6, 931-937, 2004
4. 이재철, 안성훈, “초음속 저온분사법에 의해 적층된 알루미늄 층의 재료 물성,” 한국정밀공학회지, 23, 10, 88-95, 2006.
5. 강혁진, 정우균, 추원식, 안성훈, “저온 분사 적층과 절삭가공을 이용한 금형 보수 사례연구,” 한국정밀공학회지, 23, 7, 101-107, 2006.
6. 강혁진, 최운용, 안성훈, “기계식 마이크로 머시닝을 이용한 마이크로 형상의 특성과 비용 평가,” 한국정밀공학회지, 24, 1, 47-56, 2007.