

고온기체 충돌을 이용한 마이크로 구조물 사출성형 기술개발 Injection molding of micro structure using hot jet impingement

*#김대진¹, 김성원¹, 김선경², 유영은³

*#D. J. Kim¹(djkim82@snut.ac.kr), S. W. Kim¹, S. K. Kim², Y. E. You³

¹ 서울산업대학교 NID 융합기술대학원, ² 서울산업대학교 제품설계 금형공학과, ³ 한국기계연구원

Key words : injection molding, micro channel, jet

1. 서론

최근 마이크로 나노 스케일부품의 적용분야가 광범위해지고 그 수요 또한 증가됨에 따라, 마이크로 구조물을 생성하는 공정 중 비교적 간단한 공정인 사출성형으로의 마이크로 구조물 구현기술 적용 수요 또한 급격히 증가하고 있는 추세이다. 그러나 사출금형의 표면과 접촉되면서 발생하는 수지의 고화 층, 즉 skin layer 는 마이크로 스케일 구조의 미 충전을 야기시킨다. 이러한 미충전 양상을 극복하기 위한 기술로 다양한 기술들이 제안되고 있으며 특히, 사출단계에서 발생하는 수지 고화 층의 두께를 얇게 하거나 그 생성 시간을 지연시키기 위한 기술로 사출금형의 표면가열 기술이 이용되고 있다. 본 연구에서는 고온제트분사를 이용, 금형의 표면을 고온상태로 유지시킴으로써 수지의 점도를 상대적으로 낮추고, 이에 따라 고화 층 생성 시간을 지연함으로써 미 충전을 개선하고자 하였다.

2. 장치구현

고온제트분사를 위해서 솔레노이드(solenoid) 서스판이 삽입된 가열로가 설치되었다. 가열로 내부에는 솔레노이드를 통해 유입, 분사되는 공기를 가열하기 위해 측면에 있는 탄소봉에 전기가 인가되며, 이 가열로는 최대 1300 도까지 내부 온도를 상승시킬 수 있다. 사출기는 고온기체의 분사 구의 위치와 공정의 편의를 고려해서 수직형 사출기를 사용하였으며, 기존 방식의 2 단 사출금형이 이용되었다. 금형의 상면 캐비티에는 미세패턴을 구현하기 위해 litho 공정을 거친 Si 웨이퍼를 진주 도금하여 제작된 Ni 박판이 조립되었다. 스탬퍼에 가공된 채널의 폭은 각각 30micron 에서 100micron 까지 10micron 단위로 제작되었으며 각 채널 내부로의 유동을 확인하였다.

기존의 장치에서 고온기체 상,하측 분사를 위한 일정형개량 확보를 위해 불가피하게 발생하게 된 온도강하 문제를 해결하고자 제트분사 시 금형의 형개량 최소화가 가능하도록 슬라이드구조를 채택하였다.

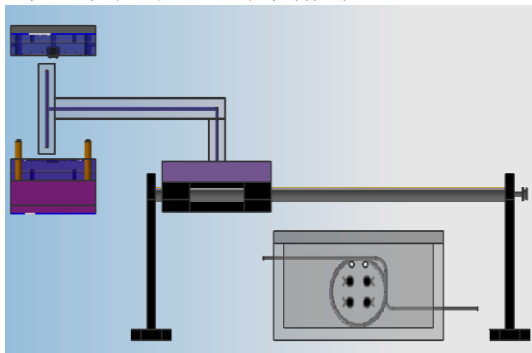


Fig. 1 Before improvement of heating-system of molding surfaces

또한 일정 기체 유량을 확보하기 위해 기체 유입 구에 유량계를 설치, 유량을 제어하였고 고온제트 분사 및 사출 전과정중 실시간으로 금형 표면 온도이력 데이터를 수집할 수 있도록 하기 위해 NI사의 SCXI-1000 과 이와 연동된 Lab View 시스템을 이용하였다. 제품의 총 두께는 2mm 이며 외곽은 50*50mm 로 이루어져 있다. 게이트는 폭 1.5mm 의 일

반 사이드 게이트를 사용하였다.

3. 사출성형

사출성형은 가열로 내부의 온도를 측정 한 상온을 기준으로 500 도에서 900 도까지 100 도 간격으로 실험을 수행하였다. 사출성형 재료로는 폴리프로필렌 (SK B350F)를 사용하였다. 폴리프로필렌은 다른 물질과 점착특성이 좋지 않기 때문에 스탬퍼에 형성된 채널과의 이형에 유리하며 이에 따라 성형결과를 관찰하는데 유리한 측면이 있다.

Table 1 Properties of Polypropylene

MI	HDT	Tensile strength	VSP	Izod Impact
16g/10min	110°C	270kg/cm ²	150°C	9kg-cm/cm

금형의 상측을 가열하는 고온기체 출구는 하측의 슬라이드 코어가 뒤로 후퇴한 상태에서 노출되며 상측에서의 기체 출구는 후퇴한 슬라이드코어의 상면 정 중앙을 가열하도록 구현되어 있다. 가열시간은 약 1 분으로 가열이 완료되면 슬라이드코어가 전진한 후 사출이 시작된다.

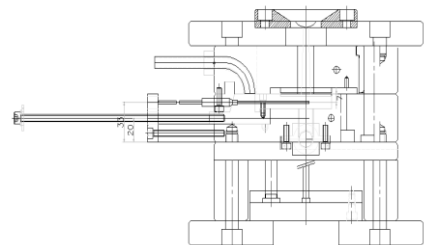


Fig. 2 After improvement of heating-system of mold surfaces

성형 조건은 Table 2 와 같다. 기존 시스템에서의 가열을 위한 형개 량에 따른 형폐 온도강하 문제점이 구조변경을 통해 어느 정도의 개선효과가 발생되는지 확인하기 위해 사출온도와 보압, 가열시간 등의 변수는 고정하고 가열로의 온도만을 상승시키면서 실험을 수행하였다. 즉 독립변수는 가열로의 온도 500 도에서 900 도이다.

Table 2 Variable and constraints of experiment

Injection temperature (constraint)	Packing pressure (constraint)	Heating time (constraint)	Cooling time (constraint)	Furnace temperature (Variable)
210°C	20bar	60sec	90sec	500-900°C

Fig. 3 에서 보는 바와 같이 사출이 되는 온도는 기존 구조 개선 전 약 70 도에서 150 도로 높아지게 되는 등 비슷한 온도조건 하에서 금형 표면을 가열한 결과가 매우 다른 수치를 보였다. 또한 표면 공정온도를 높임으로써 금형과 수지의 계면에 생성되는 skin layer 의 생성온도를 상승시키고 이에 따라 마이크로 채널로의 충전이 원활하게 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

을 확인할 수 있었다.

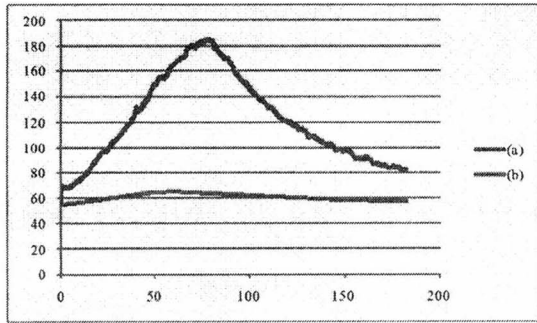


Fig. 3 Comparison of temperature aspect : (a) stamper surface temperature in improved structure, under $T_{furnace} : 900^{\circ}C$, (b) stamper surface temperature in existing structure $T_{furnace} : 900^{\circ}C$

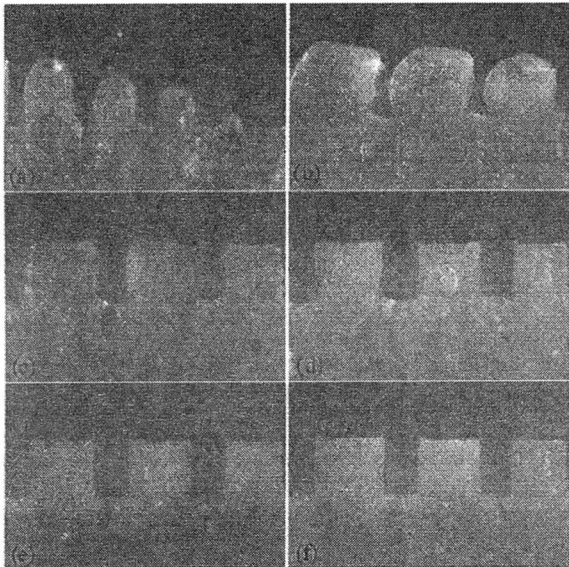


Fig. 4 Cross section for cooled channel of the products : (a) width 70, 55, $40\mu m$ under room temp; (b) width 70, 55, $40\mu m$ under $T_{furnace} = 500^{\circ}C$; (c) width 70, 55, $40\mu m$ under $T_{furnace} = 600^{\circ}C$; (d) width 70, 55, $40\mu m$ under $T_{furnace} = 700^{\circ}C$; (e) width 70, 55, $40\mu m$ under $T_{furnace} = 800^{\circ}C$; (f) under $T_{furnace} = 900^{\circ}C$

4. 결론

높은 대류열전달 계수로 단시간에 금형표면을 가열할 수 있는 고온제트 분사공정을 이용하여 사출성형 시 발생하는 고화층의 두께를 최소화 하였고 이에 따라 마이크로 채널로의 충전을 저해하는 수준의 고화층 두께 발생 시간을 충전완료 시점 이후로 늦추는 효과를 거두게 되었다.

또한 기존 실험의 가열 시스템은 가열을 위해 금형 상하측이 상대적으로 많은 형개량을 가질 수 밖에 없는 구조였으나 형개량을 최소로 하여 금형 표면을 가열할 수 있는 구조로 개선함으로써, 사출시점의 금형표면 온도를 약 180도정도까지 상승시켜 고온제트분사 효율을 극대화하였고, 개선 전의 실험에서 발생하는 사출직전까지의 온도 하강이 $20^{\circ}C$ 인 것과 비교해 적은 형개량으로 가열이 가능하여 사출단계로의 진입 시 형폐와 동시에 일어나는 대류 열 손실 요인을 제거할 수 있었다. 그리고 화염, 적외선, 열선 등을 이용한 공정에 비해 금형 내부구조의 변경도 최소화 할 수

있기 때문에 금형의 구조적인 호환성 또한 탁월하다고 판단된다. 또한 유동측면에서 상이한 온도이력을 갖는 수지의 유동에 의해 발생하는 웰드라인, 플로우마크 등의 불량을 억제하는 수단으로 표면가열이 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세 가공 시스템 기술 개발 과제에 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사 드립니다.

This research was performed by a grant for a project of "Development of Large Surface Micro-Machining System Technology" supported by Ministry of Knowledge Economy, Korea.

참고문헌

1. David Michael Kontrovitz., "Effect of Tip Geometry on Blade Tip Flow and Heat Transfer." B.S.M.E., Louisiana State University, August 2002
2. K. M. B. Jasen, "Heat-Transfer in Injection molding Systems with Insulation Layers and Heating Elements." International Journal of Heat and Mass Transfer, 38, 309-316, 1995.
3. Y. M. Kim, Y. Choi, Y. J. Kim, Shinill Kang. "Construction of Injection Mold with MEMS RTD Sensor and MEMS Heater for Micro/Nano Molding Process", Japanese Journal of Applied Physics, 44, 3591-3595, 2005.
4. 김경하, 김선경, 유영은, 제태진, 최두선, "나노 패턴의 전사성 향상을 위한 고온 기체 분사를 이용한 금형 표면의 가열기법," 소성가공학회, 16, 11-13, 2007.
5. S. C. Chen, W. R. Jon, and J. A., "Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance of weld line." Journal of Applied Polymer Science, 101, 1174-1180, 2006.
6. 김동학, 김태완, "사출성형공정을 이용한 미세패턴을 갖는 플라스틱 부품 제작에 관한 연구." 한국 산학기술학회 논문, 4, 167-168, 2004