

# DMLS 금형강의 미세 절삭가공 특성 분석

윤길상\*, 김건희\*, 이정원\*, 김종덕\*  
\*한국생산기술연구원 금형·성형연구그룹  
e-mail: seviaygs@kitech.re.kr

## Analysis on the Characteristics of Micro Cutting Process for DMLS Mold Material

Gil-Sang Yoon\*, Gun-Hee Kim\*, Jeong-Won Lee\*, Jong-Deok Kim\*  
\*Molding & Forming Technology R&D Group, KITECH

### 요 약

금속분말 쾌속조형법의 한 종류인 DMLS 공정은 사출성형품의 균일한 냉각이 가능한 3차원 냉각시스템을 포함한 코어, 캐비티 제작이 가능하다. 그러나, 코어 및 캐비티 내 미세형상의 경우 DMLS로 제작하기에는 난해하므로 별도 미세 절삭가공을 통해 제작할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 DMLS 금형강 소재의 미세 절삭가공 특성을 분석하고자 하였으며, 이를 위하여 HIP 공정 적용 전·후 DMLS 금형강 소재를 대상으로 미세 절삭가공 실험을 수행하고 버 발생 및 공구마모 경향을 분석하였다. 실험 결과 HIP 적용 전 시편이 강도 및 조직측면에서 미세 절삭가공에 상대적으로 유리함을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

플라스틱 사출금형·성형기술은 주력산업부품 중 플라스틱과 관계되는 모든 부품을 균일한 품질과 정확한 치수로 대량생산할 수 있는 생산공정 중의 하나이다. 최근 수송기기 경량화, 바이오메디컬 제품 수요 증대 등으로 인해 기능성 플라스틱 소재를 이용한 다양한 형상의 제품 대량생산 필요성이 급증하고 있다.

일반적으로 사출성형공정은 수지 충전, 보압, 냉각, 취출 순서로 진행된다. 이 중 냉각공정은 사출성형 사이클 타임의 2/3 이상을 차지하며, 제품변형 등 성형품 품질에 직접적인 영향을 미친다. 사출금형의 냉각 시스템은 성형품 변형을 최소화하기 위하여 형상에 적합하게 균일한 냉각이 이루어질 수 있도록 설계되어야 한다. 그러나, 대부분의 플라스틱 제품 형상이 기능성 및 심미성 확보를 위하여 복잡화 되고 있음에 따라 복잡 형상의 성형품을 균일하게 냉각시킬 수 있는 3차원 구조의 냉각 시스템 필요성이 증대되고 있다. 3차원 구조의 냉각 시스템은 일반적인 기계절삭가공, 방전가공 등으로는 제작이 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서, 최근 금속분말 소재 기술 발달로 인해 금속쾌속조형법을 이용한 3차원

형상을 내제한 금형 또는 금속부품 및 제품 제작에 관한 연구가 진행되어 왔다.[1~3] 금형 제작 시 금속쾌속조형법을 적용할 경우 C4(Conformal Cooling Cavity Core) 금형 제작이 가능하다. C4금형은 3차원 냉각 시스템을 가진 코어 및 캐비티를 포함한 금형으로서 성형품 형상과 일정한 간격을 가진 냉각 시스템 구조를 가짐에 따라 균일한 냉각을 통해 성형품의 품질을 더욱 향상시킬 수 있다. 그러나, 금속쾌속조형법을 이용하여 금형의 캐비티, 코어를 제작할 경우 일부 미세형상 등을 제작하기에는 쾌속조형공정의 분해능 및 정밀도 측면에서 다소 불리할 수 있다. 따라서, 금속쾌속조형법으로 제작된 캐비티 또는 코어에 추가적으로 미세 절삭가공을 통해 코어 및 캐비티 형상을 제작하는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 금속쾌속조형법 중의 하나인 DMLS(Direct Metal Laser Sintering)을 통해 제작되는 금형강 재료의 마이크로 절삭가공 특성 분석을 수행하고자 하였다. 이를 위하여 DMLS를 통해 제작된 소재와 소재의 치밀도를 향상시키기 위하여 추가적으로 HIP(Hot Isostatic Press) 처리를 거친 재료를 대상으로 마이크로 절삭가공 실험을 수행하고 가공형상 및 공구마모 특성을 분석하였다. 이로써

금속쾌속조형법을 통해 제작되는 C4금형 제작 시 마이크로 형상가공 용이성 확보할 수 있는 기반을 마련하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 마이크로 절삭가공 시스템

본 연구의 마이크로 절삭가공 실험에 적용된 가공 시스템은 그림 1과 같다. 적용된 가공 시스템은 수직형 3축 공작기계와 동일한 구조를 가지며, 공구 회전축은 최대 100,000rpm까지 가속이 가능한 에어베어링 방식 고주파 스핀들로 구성되어 있다. 마이크로 절삭가공의 경우 가공 시스템 자려진동 저감도 중요하나 외부로부터 전달되는 진동저감 및 방지도 매우 중요한 장비요소임에 따라 시스템 정반 하부에 아이솔레이터(isolator)를 설치하여 바닥면으로부터 전달되는 진동을 최소화하였다.



Item	Specification
Traveling range	X, Y-axis (600mm), Z-axis (200mm)
Resolution	X, Y, Z-axis (0.1 $\mu$ m)
Accuracy	X, Y-axis (6 $\mu$ m), Z-axis (2 $\mu$ m)
Repeatability	X, Y, Z-axis (0.2 $\mu$ m)
Max. velocity	X, Y-axis (200mm/s), Z-axis (100mm/s)
Rotational speed	Max. 100,000rpm
Spindle run-out	Max. 0.7 $\mu$ m
Static radial load	Min. 6 Kg
Oil-mist	0.05 cc/shot
Workpiece weight	Max. 45 Kg

[그림 1] Photo and specification of micro cutting system used in this study

### 2.2 DMLS 금형강 소재

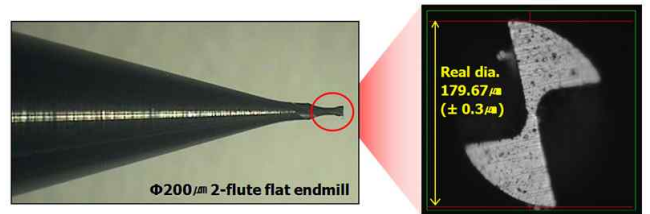
본 연구에서 절삭가공 실험시편으로 선정된 DMLS 금형강 소재는 'DirectSteel H20'으로 강도, 경도, 마모 저항과 표면밀도가 우수하며 합금 공구강과 유사하여 사출금형 재료로 적합하다. DMLS 금형강 소재는 평균적으로 49.7HRC의 마이크로 경도, 25.1%의 다공성을 가지며, 1,000bar, 1,050 $^{\circ}$ C의 HIP처리를 거친 소재는 47.6HRC, 4.7% 다공성 물성을 가진다.

### 2.3 실험조건

표 1은 마이크로 절삭가공 실험 조건을 정리한 것이다. 가공형상은 공구 회전직경과 동일한 폭 200 $\mu$ m, 깊이 100 $\mu$ m 슬롯(slot)이며, 정밀한 금형가공을 위한 기초데이터 획득을 목적으로 건식, 습식 절삭윤활조건을 각각 적용하여 실험을 수행하였다.

[표 1] The conditions of micro cutting experiments

Tool	Dia. 200 $\mu$ m 2-flute WC endmill
Cutting velocity	30m/min (31,847rpm)
Feed per tooth	0.86 $\mu$ m/tooth (55mm/min)
Depth of cut	100 $\mu$ m (20 $\mu$ m/step $\times$ 5step)
Total cutting length	200mm
Cutting lubricant	1. Dry cutting with the compressed air (1.5bar) 2. Wet cutting with the solubility cutting oil



[그림 2] Micro endmill used in experiments of this study

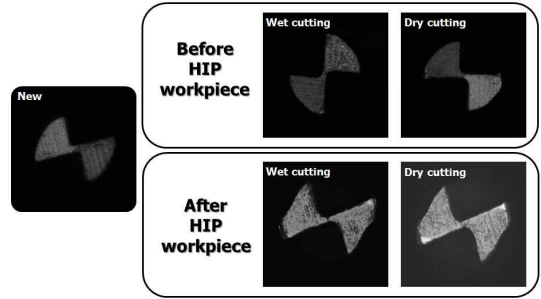


[그림 3] Photos of micro cutting experiments

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 4는 HIP 적용 전 DMLS 금형강 시편의 건식, 습식 마이크로 절삭가공 실험 결과를 나타낸 것이다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 습식 절삭의 경우 버(burr) 발생량이 가공 후반부에 다소 증가하는 양상을 보이거나 건식 절삭의 경우 가공 초기부터 후반부까지 지속적으로 버가 발생되어 가공품질이 더욱 열악함을 확인할 수 있었다. 그림 5는 HIP 적용 후 시편의 마이크로 절삭가공 실험 결과로서 건식, 습식 절삭조건 모두 HIP 적용 전 시편을 이용한 실험보다 버 발생량이 상대적으로 크다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 HIP를 통해 DMLS 금형강 조직의 치밀도 및 결합도가 향상되었음을 간접적으로 확인할 수 있는 결과이다. 또한, 그림 6에서도 볼 수 있

듯이 HIP를 거친 시편 가공 시에 공구 플랭크 마모도 상대적으로 크게 발생되었음을 확인할 수 있다. 따라서, HIP 과정 중 발생하는 수축률을 보다 정량적으로 평가할 수 있다면 HIP 적용 전에 수축률을 고려한 미세가공 형상크기로 미세 절삭 후 가공된 DMLS 금형강을 HIP 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.



[그림 6] Tool wear images by micro vision sensor

#### 4. 결론

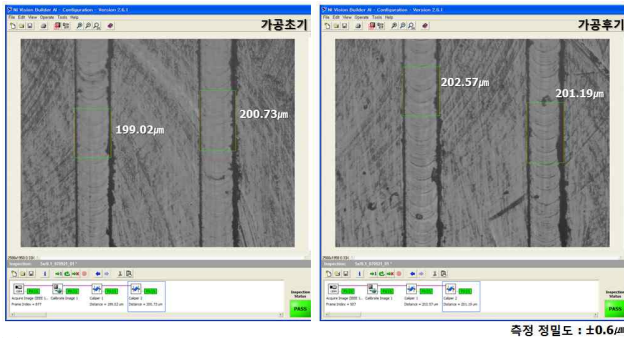
본 연구에서는 DMLS를 통해 제작된 금형강 재료의 미세절삭가공 특성을 분석하였다. DMLS 공정을 이용할 경우 성형품 형상에 가장 최적화된 3차원 냉각 시스템을 포함한 금형 제작이 가능함에 따라 성형품 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나, 코어에 포함된 미세 형상의 경우 DMLS 과정을 통해 제작되기가 다소 난해함에 따라 DMLS 금형강 소재 제작 후 별도로 미세 절삭가공을 수행하여야 할 필요가 있다. 이러한 과정을 위한 기초연구로 DMLS 금형강의 치밀화를 위한 HIP 공정 전·후 시편 미세 절삭가공 실험을 수행하고 버 발생, 공구마모를 분석하였다. 실험결과 버 발생, 공구마모 특성 모두 HIP 적용 전 시편이 상대적으로 양호함을 확인할 수 있었으며, 건식보다 습식 절삭조건이 유리함을 확인하였다. 따라서, DMLS 금형강 소재의 HIP 적용에 따른 수축률을 정량적으로 평가할 수 있다면, DMLS 금형강 소재에 수축률을 고려한 미세형상 가공 수행 후 HIP 공정을 수행하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

#### 후 기

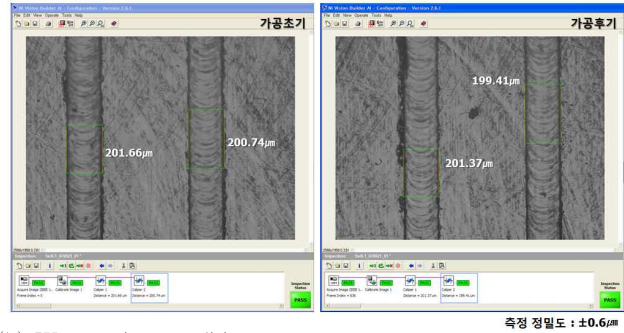
본 연구는 한국생산기술연구원 생산기반기술개발사업 ‘초고압력 등방압 응용 핵심부품 제조기술 개발’ 과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 유홍진, 김동학, 장석원, 김태완 “SLS형 쾌속조형기를 이용한 미세구조 몰드 제작”, 한국산학기술학회논문지, 제5권, 제2호 pp. 186-190, 2월, 2004.
- [2] 주영철, 김태완, “쾌속조형기를 이용한 정밀주조물의 쾌속제작에 관한 연구”, 산학기술성공학회논문지, 제3권, 제2호, pp. 136-140, 2월, 2002.
- [3] 양동열, 손현기, “직접식 금속 쾌속조형공정”, 대한용접학회지, 제17권, 제3호, pp. 1-7, 6월, 1999.

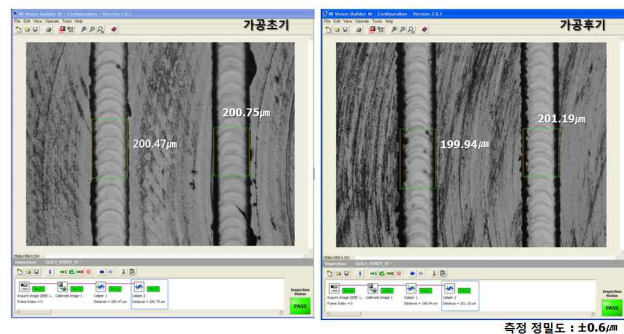


(a) Dry cutting condition

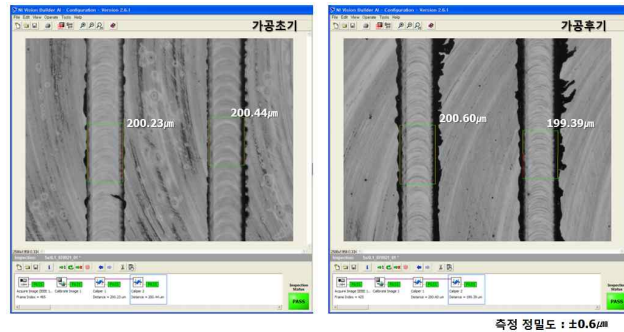


(b) Wet cutting condition

[그림 4] Measurement of micro slot width (before HIP workpiece)



(a) Dry cutting condition



(b) Wet cutting condition

[그림 5] Measurement of micro slot width (after HIP workpiece)