

◆ 특집 ◆ 3 차원 임의형상제작 기술 및 응용

직접식 금속 쾌속 툴링/생산 기술을 이용한 금형 개발

Development of Moulds and Dies Using Direct Metal Rapid Tooling & Manufacturing Technologies

안동규 ^{1,✉}
Dong-Gyu Ahn ^{1,✉}

1 조선대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chosun Univ.)
✉ Corresponding author: smart@mail.chosun.ac.kr, Tel: 062-230-7043

Key Words: Direct Metal Rapid Tooling & Manufacturing (직접식 금속 쾌속툴링/생산), Moulds and Dies (금형), High Value Aided Mould and Dies (고부가가치 금형), Manufacturing Technology of Eco Moulds and Dies (친환경 금형 생산 기술)

1. 서론

1992 년 미국의 DTM 사가 SLS(Selective laser sintering) 공정을 개발한 이후 직접식 금속 쾌속툴링/생산(Direct metal rapid tooling & manufacturing) 공정은 10 여가지 이상 개발되었다.^{1,2}

직접식 금속 쾌속툴링/생산공정들 중 금형 제작을 위한 공정은 Fig. 1 과 같이 재료의 접합/결합

방법에 따라 판재 적층 공정(Lamination process), 금속분말 바인딩 공정(Binding process), 금속 분말 소결 공정(Sintering process) 및 금속 분말 용착 공정(Melting process) 으로 분류할 수 있다.³

판재 적층 공정으로 박판 절단과 기계적 체결/접합/용접하는 Steel lamination 공정과 얇은 금속 필름을 초음파로 용접하는 Solidica 공정등이 있다.^{2,4} 바인딩 공정으로는 집착제를 잉크젯 방식으로 분사하여 금속분말을 결합시킴으로써 제품을 제작하는 금속 3 차원 프린팅 공정(Three-dimensional Printing: 3DP)이 대표적이다.⁵

금속 분말 소결 공정은 선택적 레이저 소결 공정(SLS)과 직접식 금속 레이저 소결 공정(Direct metal laser sintering: DMLS) 등이 개발되었다.^{6,7} SLS 공정에서는 표면에 고분자가 코팅된 금속분말의 표면을 레이저로 용융시킨 후, 표면만 용융된 금속분말들을 소결 시킴으로써 제품 제작하는 공정이다. 직접식 금속 레이저 소결 공정은 저용융점 금속분말과 고용융점 금속 분말을 혼합하여 전체 분말 용융률을 생성한 후, 레이저로 한층씩 소결 시킴으로써 제작된 제품의 밀도를 95-98%까지 얻을 수 있는 공정이다.

금속 분말 용착 공정으로는 Laser engineered net shaping(LENS) 공정, 직접식 금속 적층(Direct metal

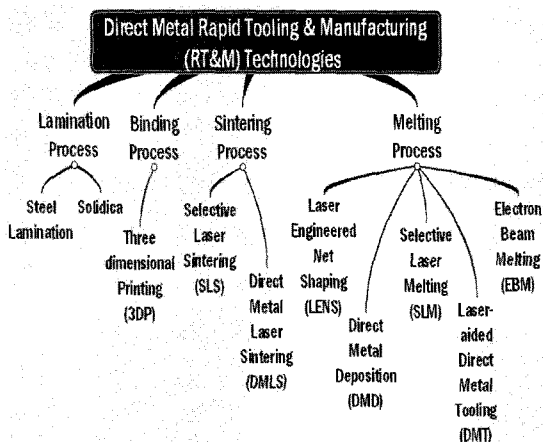


Fig. 1 Classification into the direct metal rapid tooling and manufacturing technologies

deposition: DMD) 공정, 선택적 레이저 용융 (Selective laser melting: SLM) 공정, 직접식 금속 툴링 (Laser-aided direct metal tooling: DMT) 공정 및 전자 빔 활용 금속 용융 공정(Electron beam melting: EBM) 등이 개발되었다.^{8,12} 이 공정들은 모두 레이저 또는 전자빔등 고밀도 열원을 이용하여 금속 분말을 완전히 용융하여 기저 재료나 앞단계에서 생성된 층위에 완전 융착시키거나, 용융된 기저 재료나 전단계 생성층에 금속분말을 투입하여 금속분말을 고밀도 열원과 용융풀의 열로써 금속 분말과 기저재료/전단계 생성층을 함께 용융 시킨후 냉각시킴으로써 거의 100%의 밀도를 가지는 제품을 제작할 수 있다. 특히 이 공정들 중 레이저 헤드에 금속 분말 투입 노즐이 동축으로 부착되어 적층을 수행하는 LENS, DMD 및 DMT 공정의 경우 국부 영역에 입의의 형상으로 기저 재료와 다른 재료를 적층할 수 있어 기능성 금형 제작과 금형 보수에 적용이 매우 용이하다.^{8,9,11}

직접식 금속 패속툴링/생산 공정이 개발된 시점부터 이 기술을 금형 개발/제작에 적용하고자 하는 노력들이 지속적으로 이루어져 왔다. 특히 얇은 층을 한층씩 적층하여 제품 제작하는 패속툴링/생산 공정의 특징을 이용하면 국부 기능성을 가진 금형, 고속/균일 냉각 금형 및 이종재료로 구성된 기능성 금형등의 특수 목적형 고부가가치 금형을 개발 할 수 있어 직접식 금속 패속툴링/생산 공정의 기능성 사출성형/박판성형/다이캐스팅 금형 개발에 적용되기 시작하고 있다.^{3,13}

최근 녹색 친환경 및 고에너지 효율 기술개발에 대한 산업계의 관심이 높아지고 있다. 전세계 금형 산업계에서도 녹색 친환경 및 고에너지 효율 제품 생산을 위한 친환경 금형 기술개발에 대한 연구가 시작되고 있다. 친환경 금형 기술개발의 한가지 방향으로 고속냉각 특성을 가진 고생산성 금형, 저 마모성 금형 및 금형 재사용(Recycling) 기술에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되기 시작하였다.^{9,11}

본 특집에서는 국내외 주요 직접식 금속 패속툴링/생산기술을 이용한 금형 개발 사례들을 기술하고자 한다. 또한 직접식 금속 패속툴링/생산기술을 활용한 고부가가치 친환경 금형 개발의 방향을 모색하고자 한다.

2. 직접식 패속툴링/생산 기술의 금형 개발 적용

2.1 직접식 패속툴링/생산 기술의 금형 개발 적용 분야

직접식 패속툴링/생산 기술의 금형 개발에 대한 적용은 Fig. 2 와 같이 크게 사출성형 금형, 박판성형(Sheet metal forming) 금형, 체적 성형(Bulk metal forming) 금형 및 금형 보수(Restoration of moulds and dies) 분야에서 지속적으로 이루어지고 있다.

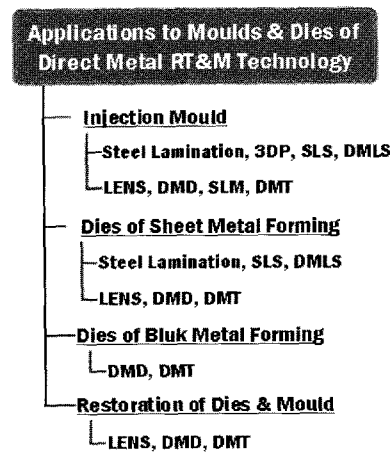


Fig. 2 Applications of moulds and dies of direct metal rapid tooling & manufacturing technology

사출성형 금형 분야에 대해서는 Steel lamination, 3DP, SLS, DMLS, LENS, DMD, SLM 및 DMT 공정 등 거의 모든 직접식 패속툴링/생산 기술들이 적용되고 있다. 주요 적용 영역은 3 차원 형상 적응형 냉각 채널을 가진 고속 냉각 금형이다. 최근에는 이종재료로 구성된 열관리 금형(Thermal management mould : TMM) 개발에 직접식 패속툴링/생산 기술을 적용하여 사출성형 금형의 초고속/균일 냉각을 유도하는 연구가 시작되고 있다.¹⁴

박판성형 금형 분야에 대해서는 Steel lamination, SLS, DMLS, LENS, DMD 및 DMT 공정들이 적용된 바 있다.^{3,9,11,15-17} 직접식 패속툴링/생산 기술의 주요 적용 영역은 시제작 제품용 박판성형 금형 개발에 집중되어 있다. 그러나 최근에는 이종 재료 적층을 통한 국부 마모 특성 향상 금형 및 핫 포밍(Hot forming) 공정 금형의 냉각 속도 향상에 대한 연구에도 직접식 패속툴링/생산 기술이 적용되기 시작하고 있다.¹⁸

체적성형 금형 분야에서는 DMD 및 DMT 공정

이 적용된 바 있다. 주로 열간 단조 금형의 표면 에 고 내마모성 재료를 도포하여 금형 내마모성을 재료를 증가시키는 연구가 집중되고 있다.^{9,11}

금형 보수에서는 레이저 헤드에 금속 분말 투입 노즐이 동축 부착되어 적층을 수행하는 LENS, DMD 및 DMT 등의 공정이 많이 적용되고 있다. 이 공정들의 적용분야도 자동차 내외장 부품 금형 보수, 자동차 램프 제작용 사출성형 금형 보수 등 매우 다양하다.^{9,11}

2.2 사출성형 금형 개발

2.2.1.3 3차원 형상 적응형 냉각채널(Conformal cooling channel) 을 가진 균일/고속 냉각 사출 성형 금형 개발

사출 성형 금형에 직선형 냉각 채널을 삽입하는 기존의 냉각 채널 생성 방식은 제품의 불균일 냉각과 위치별로 다른 냉각 시간에 의하여 제품의 후변형과 냉각시간이 증대시킬 수 있다. 그러나 금형 표면 형상을 따라 3 차원적으로 굽어진 형상을 가진 냉각채널을 사출성형 금형 내부에 생성할 경우 제품의 균일 및 고속 냉각을 유도할 수 있다.¹⁹ 한층씩 용융/소결된 금속을 적층하여 제품 제작하는 직접식 금속 3D 프린팅/생산 공정을 사용할 경우 3 차원 형상 적응형 냉각 채널을 쉽게 생성할 수 있다. 그러므로 직접식 금속 3D 프린팅/생산 공정의 가장 많은 사출성형 금형 적용에는 형상 적응형 냉각채널을 가진 균일/고속 냉각 금형으로 분류할 수 있다.

1998 년에 영국 도요타 기술연구소에서는 Fig. 3 과 같이 알루미늄 합금 판재를 레이저 절단된 판재를 볼팅(Bolting) 과 경납땜(Brazing) 으로 접합한 후 후가공을 수행하여 내부에 형상 적응형 냉각채널을 가진 사출 금형을 제작한 바 있다.²⁰ 영국의 Warwick 대학에서는 Fig. 4 와 같이 레이저 절단과 브레이징을 이용하여 BMW 사의 Rover 25 모델 CVT 콘솔의 카울 제작용 형상 적응형 냉각채널을 가진 사출성형 금형을 개발한 바 있다.¹⁵

2000 년에 미국 MIT 에서는 Fig. 5 와 같이 3DP 공정의 상용화 공정인 ProMetal 공정을 이용하여 3 차원 형상 적응형 냉각채널을 가진 사출성형 금형 제작 방법과 이 금형을 이용한 냉각 특성 변화에 관한 연구를 수행하였다.²¹

2003 년 영국 Leed 대학에서는 Fig. 6 과 같이 사출 성형 금형의 냉각 성능 향상을 위하여 SLS 공정의 LaserForm 재료를 이용한 형상 적응형 냉

각채널을 가진 사출성형 금형의 제작방법과 이로 인한 에너지 절감과 환경 영향성에 대한 연구를 수행한 바 있다.²²

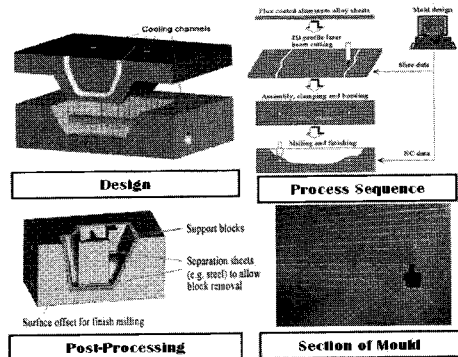


Fig. 3 Applications of steel lamination process to manufacturing of mould with conformal cooling channels (Toyota Technology Institute, UK)²⁰

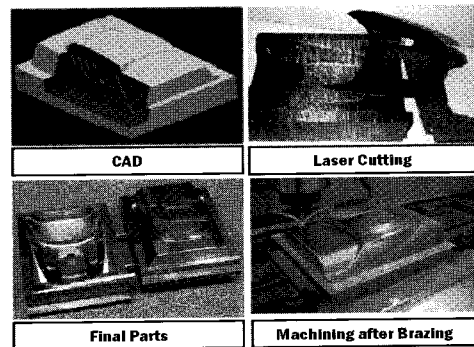


Fig. 4 Applications of steel lamination process to manufacturing of mould with conformal cooling channels (Univ. of Warwick, UK)¹⁵

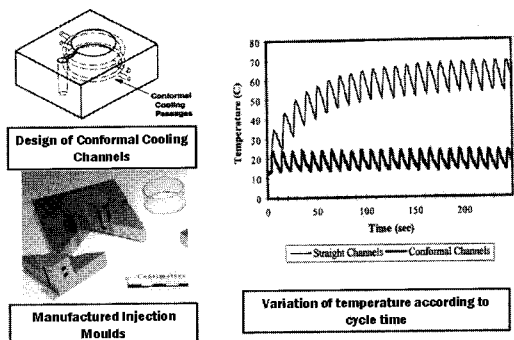


Fig. 5 Applications of 3 DP process to manufacturing of mould with conformal cooling channels (MIT, USA)²¹

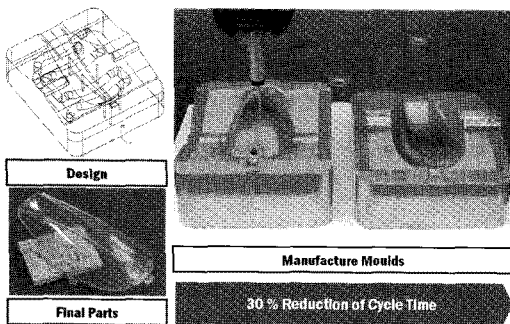


Fig. 6 Application of SLS process to manufacturing of mould with conformal cooling channels (Univ. of Leed, UK)²²

2004 년 독일 EOS 사에서는 금형의 균일 냉각 유도와 냉각 시간 감소를 위하여 DMLS 공정을 이용하여 3 차원 형상적응형 냉각채널을 가진 골프공 제작 금형을 개발한 바 있다.¹⁴

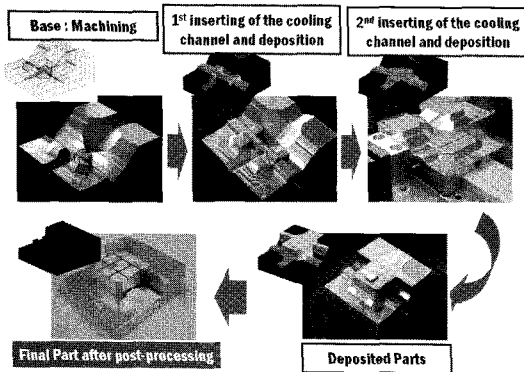


Fig. 7 Application of DMT process to manufacturing of mould with conformal cooling channels (Univ. of Chosun and Inssteck Inc., Korea)²⁴

국내에서는 2006 년도에 KITECH 에서 DMLS 공정을 이용한 3 차원 형상적응형 냉각채널을 가진 단순 형상의 인서트 몰드를 개발한 바 있다.²³ 또한 2006 년부터 조선대학교과 ㈜인스텍 및 광주 지역 사출성형금형 산업체의 지속적인 산학협력을 통하여 Fig. 7 과 같이 다양한 제품에 대한 3 차원 형상적응형 냉각채널을 가진 균일/고속냉각 사출성형 금형을 개발하고 있다.²⁴

2.2.2 이종재료 적층형 열관리 사출 성형 금형 개발

최근에는 LENS, DMD 및 DMT 와 같이 레이저

헤드와 금속 분말 분사 노즐이 동축으로 되어 있어 레이저 조사와 금속 분말 분사가 동시에 이루어지는 금속 분말 용착 공정의 사출 성형 금형에 적용되기 시작함에 따라, 이 공정의 장점인 위치/영역별 선택적 금속 배열 기능을 활용하여 고속 냉각과 균일 냉각 능력이 극대화된 열 관리 사출성형 금형이 개발되고 있다.

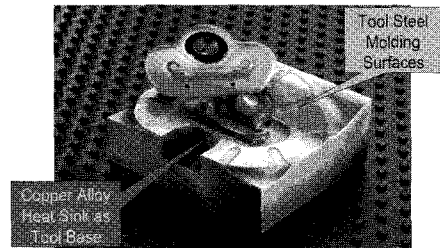


Fig. 8 Application of DMD process to manufacturing of thermal management mould (Univ. of Louisville and POM Inc., USA)^{9,14,25}

1999 년에 미국 Louisville 대학과 POM 사의 공동 연구를 통하여 Fig. 8 과 같은 H-13 사출 성형 금형강과 크롬-구리로 구성된 이종재료 사출 성형 금형을 DMD 공정으로 제작하여 금형의 냉각 특성과 수명에 대한 연구를 수행하였다.^{9,14,25} 이 연구에서 거의 0 초의 냉각시간과 전체 사출시간이 27 초에서 22 초로 단축되는 결과를 얻었다. 2000-2004 년에 미국의 미시간 대학과 POM 사는 NSF PREMISE 프로그램의 지원을 받아 DMD 공정으로 이종 재료로 구성된 열전도성 사출 성형 금형 개발에 대한 연구를 수행한 바 있다.²⁶

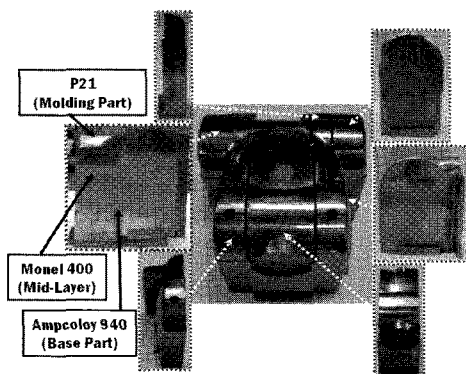


Fig. 9 Application of DMT process to manufacturing of thermal management mould (Univ. of Chosun, Woo-Sung Inc. and Inssteck Inc., Korea)²⁷

국내에서는 2006 년부터 조선대학교와 ㈜우성 정공 및 ㈜인스텍의 지속적인 산학협력을 통하여 Fig. 9 와 같이 여러 가지 종류의 사출성형 제품에 대한 DMT 공정 활용 3 종 재료 적층식 열관리 사출 성형 금형 개발과 이 금형으로 제작된 제품의 냉각/변형 특성 및 품질 변화에 대한 연구를 수행 하고 있다.²⁷

2.3 박판 성형 금형 개발

직접식 금속 패속틀링/생산 공정이 박판 성형 금형 개발에 적용된 것은 주로 시제작 금형분야가 대부분을 차지한다.^{28,29} 그러나 DMD 및 DMT 등의 금속 분말 용착 공정이 계속적으로 발전함에 따라 고장력 강판(High strength steel sheet) 성형 금형의 국부 마모성능 향상 기술개발 및 핫 포밍(Hot forming) 금형의 냉각 성능 향상 방법 개발으로도 직접식 금속 패속틀링/생산 공정 적용영역이 넓어지고 있다.^{9,18}

1994 년 MIT 공대에서는 금형강판을 레이저 절단하고 절단된 각층을 볼트로 체결한 후, 금형 표면을 CNC 가공하여 사각형 컵 드로잉용 금형을 제작하는 Profile-edge-lamination 방법에 대한 연구를 수행한 바 있다.²⁸ 1997 년에 일본 동경대학교와 Hanai Engineering 에서는 Fig. 10 과 같이 Steel Lamination 공정을 이용하여 금형강 박판의 레이저 절단과 볼팅 후, 표면을 연삭하여 자동차 판넬 시 제작용 프레스 금형을 제작한 바 있다.³⁰

1999 년에 Kuzman 등은 DMLS 공정을 이용하여 사각형 컵 드로잉 금형을 제작하고, 이 금형을 박판 성형 실험에 적용하여 제작 금형의 박판 성

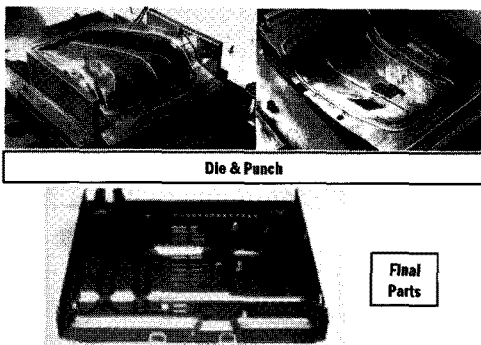


Fig. 10 Applications of steel lamination process to manufacturing of sheet metal forming tools (Univ. of Tokyo and Hanai Engineering Inc., Japan)³⁰

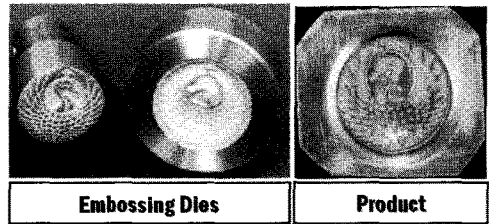


Fig. 11 Applications of SLS process to manufacturing of sheet metal forming tools (Nanyang Technical University, Singapore)³²

형 공정 적용 가능성을 검증한 바 있다.³² 2002 년에는 싱가포르 Nanyang 공대에서 Fig. 11 과 같이 SLS 공정을 알루미늄 판재 엠보싱 금형 개발에 적용한 바 있다.³²

2004 년부터 미시간대학교와 POM 사의 산학 공동 연구에서는 프레스 성형 금형의 국부 내구 특성 향상과 마찰 특성 향상을 위하여 DMD 공정을 활용한 이중 재료 및 금형 재료 국부 적층을 통한 기능성 박판 성형 금형 개발에 대한 연구를 계속적으로 수행하고 있다.⁹

2007 년에 오스트리아의 Graz 공대 Tools & Forming 연구소에서는 Fig. 12 와 같이 Boron 합금 판재로 자동차 B-Pillar 를 성형하는 핫 포밍 금형의 냉각 성능 향상을 위하여 주조, 고속가공 및 DMD 공정을 활용한 형상 적응형 냉각채널을 가진 고속 냉각 핫 포밍 금형 제작 방법을 연구한 바 있다.¹⁸

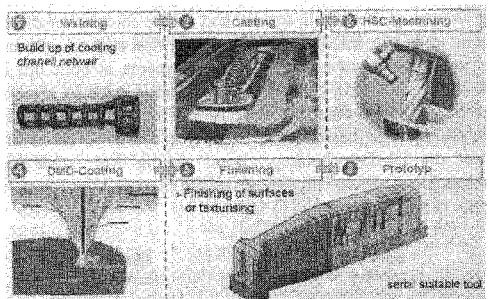


Fig. 12 Applications of DMD process to manufacturing of hot forming tools with conformal cooling channels (Univ. of Graz, Austria)¹⁸

2.4 체적 성형 금형 개발

체적 성형 금형 개발 분야에 적용된 직접식 금속 패속틀링/생산 공정은 DMD 및 DMT 의 금속 분말 용착 공정이 대부분이다. 주로 열간 단조 금형의 국부 마모 특성을 향상시키는 Hard facing 기

술이 많이 적용되고 있다.

미국 POM 사에서는 Fig. 13 과 같이 DMD 공정을 이용하여 열간 단조 금형위에 고 내마모성 재료를 도포하여 금형의 내마모성과 수명을 향상시키는 Hard facing 기술을 연구하여 기어 성형 금형, 커넥팅로드 성형 금형등 2-3 가지 정도의 열간 단조 금형에 적용한 바 있다.^{9,33}

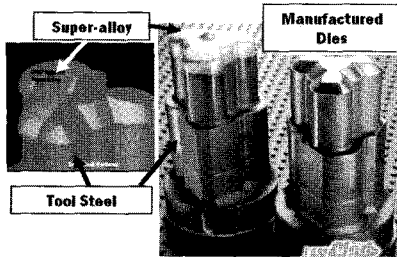


Fig. 13 Applications of DMD process to manufacturing of hot forging tools with a high wear resistance (POM Inc., USA)⁹

국내에서는 조선대학교와 ㈜인스텍으로 공동 연구로 열간 단조 금형의 국부 내마모성 증대를 위한 다종 재료 선택적 적층식 기능성 열간 단조 금형 개발에 대한 기초 연구를 수행중에 있다.¹¹

2.5 금형 보수

직접식 금속 쾌속틀링/생산 공정을 이용한 금형 보수는 자동차 부품 박판/사출 성형용 금형에 많이 적용되고 있다. 직접식 금속 쾌속틀링/생산 공정을 이용한 금형 보수를 수행하는 이유는 금형의 국부 파손/마모 및 일부 금형 형상 변경으로 인하여 금형을 다시 개발/제작할 때 발생하는 기간과 비용을 감소시키기 위함이다. 특히 LENS, DMD 및 DMT 공정등 금속 분말 용착 공정의 경우 금형 표면을 따라 레이저 헤드와 분말 투입용

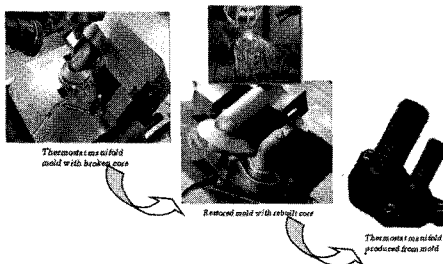


Fig. 14 Applications of DMD process to restoration of mould (POM Inc., USA)⁹

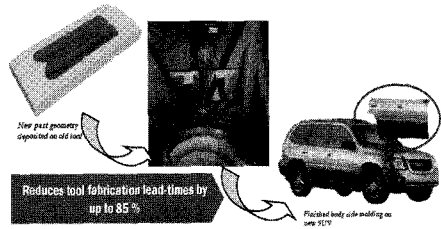


Fig. 15 Applications of DMD process to restoration of sheet metal forming tools (POM Inc., USA)^{9,33}

동축 노즐이 동시에 이동하면서 금속을 적층할 수 있어 금형 보수에 효율적으로 적용할 수 있다. 2003 년부터 미국의 POM 사에서는 DMD 공정을 이용하여 사출 성형 금형 및 자동차 박판 성형 금형의 쾌속 보수 기술을 개발하여 현업에 적용하고 있다. 그 결과 금형 제작을 위한 납기를 현저히 단축 시킬 수 있었다. 특히 POM 사가 자동차 박판 성형 금형 보수에 DMD 공정을 적용한 예의 경우 자동차 Door 의 설계 변경이 이루어지면서 금형면 형상이 바뀌어 금형을 다시 개발/제작하여야 되었는데, 기존의 Door 성형 금형의 표면만 제거한 후 DMD 공정으로 성형부만 적층하여 변경된 Door 성형 금형을 제작하였다. 이 결과 Door 성형 금형의 납기가 85%까지 감소하였다는 결과가 보고된 바 있다.^{9,33}

국내에서도 2005 년도부터 ㈜인스텍에서 DMT 공정을 이용하여 Fig. 16 과 같이 자동차 LAMP 용 금형, 자동차 커넥팅 로드 열간 단조용 금형, 자동차 외관 성형 금형 등의 다양한 금형을 보수하여 현업에 적용한 바가 있다. ㈜인스텍의 결과에 따르면 고가 LAMP 금형의 국부 파손에 의한 금형 보수가 24 시간내에 이루어졌으며, DMT 공정으로 보수된 커넥팅로드 열간 단조 금형의 경우 기존의 금형보다 금형 수명이 1.5 배 이상 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.¹¹

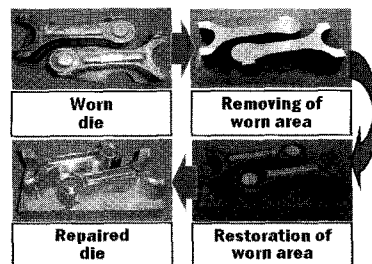


Fig. 16 Applications of DMT process to restoration of hot forging tools (Insstec Inc., Korea)¹¹

2.6 금형 제작을 위한 후처리 기술

직접식 금속 패속톨링/생산 공정으로 제작된 금형의 경우 금형 표면조도가 매우 높은 값을 나타내기 때문에 소성가공 및 사출성형과 같이 제품을 제작하기 위해서는 금형 표면 조도를 향상시키기 위한 후처리 기술이 필요하다.



Fig. 17 Example of post-processing of deposited mould by direct metal RT&M technologies (Univ. of Hong Kong, China)³⁵

2000 년에 홍콩대학교에서는 Fig. 17 과 같이 SLS 공정으로 제작된 금형의 표면 조도 향상을 위하여 로봇 가공 시스템을 이용한 후가공 방법에 대한 연구를 수행한 바 있다.^{34,35} 그 후 계속적인 직접식 금속 패속톨링/생산 공정 적용 금형에 대한 후처리 기술들이 개발되고 있으며, 이와 관련된 기술개발은 직접식 금속 패속톨링/생산 공정 적용 금형 개발시 Case-by-case 로 이루지고 있어 후처리 기술에 대한 체계적 정립이 필요한 상황이다.

3. 직접식 금속 패속톨링/생산 기술을 이용한 금형 개발 방향

직접식 금속 패속톨링/생산 기술을 이용한 금형 개발에 있어 Trial-and-error 의 최소화가 필수적인 시제작 금형과 제품 생산량이 많지 않은 다품종 소량 생산이 두드러진 고부가가치 제품 금형, 고생산성/고내구성 금형과 같은 기능성 금형 개발에 대한 연구가 확대될 것으로 사료된다.

직접식 금속 패속톨링/생산 기술 중 적층 부위의 밀도가 높고 완전 용융에 의한 적층 부위별 결합 특성이 우수하며, 동일 재료 적층시 단일 재료와 같은 특성을 나타내는 금속 분말 용착 공정이 금형 분야에 계속적으로 적용될 것으로 생각된다. 금속 분말 소결 공정의 경우 DMLS 공정과 같이 소결을 하더라도 적층 부위의 밀도가 높은 공정이 금형 개발 분야에 적용 될 것으로 판단된다.

직접식 금속 패속톨링/생산 기술의 금형 개발

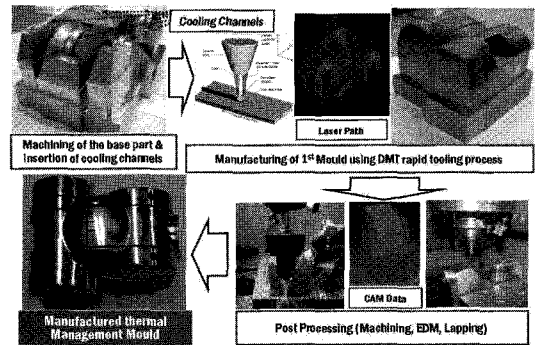


Fig. 18 Concept of hybrid rapid tooling and manufacturing process and the manufactured thermal management mould via the hybrid RT&M process³⁶

적용시 Fig. 18 과 같이 제작 시간과 금형 표면 정밀도 향상을 위하여 금형의 기저부는 기계가공으로 제작하고 금형의 표면부 및 특수 기능부를 직접식 금속 패속톨링/생산공정으로 적층하여 제작한 후, 최종적으로 금형 표면을 후처리 공정으로 가공하는 금형 제작용 하이브리드 직접식 금속 패속톨링/생산 기술에 대한 연구가 확대될 것으로 사료된다.

금형 제작용 하이브리드 직접식 금속 패속톨링/생산 기술의 사출 성형 금형 개발 적용시 Fig. 18 과 같은 균일/고속 냉각을 유도하여 제품내 품질 균일성을 높이며, 제품의 고생산성을 유도하는 고부가가치 고에너지 효율 사출 성형 금형 개발에 대한 연구가 확대될 것으로 판단된다. 하이브리드 직접식 금속 패속톨링/생산 기술을 이용하여 균일/고속 냉각 금형을 개발하기 위해서는 하이브리드 직접식 금속 패속톨링/생산 기술에 적합한 금형 설계 기술, 금형 열전달 특성 향상/분석 기술, 금형 내구성 향상/특성 분석 기술, 금형 제작 경로 생성 기술 및 제작 금형의 고정밀 후가공 기술의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

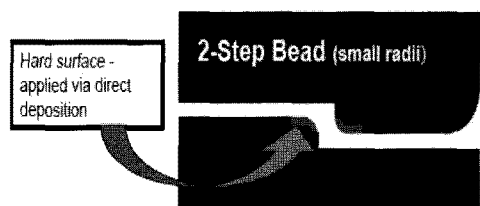


Fig. 19(a) Concept of sheet metal forming dies with high wear resistance⁹

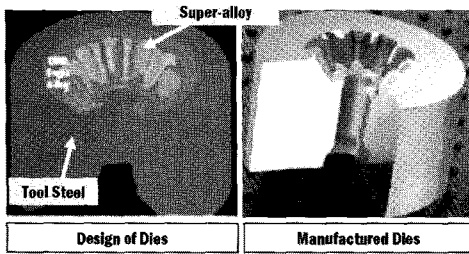


Fig. 19(b) Concept of bulk metal forming dies with high wear resistance⁹

하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술의 박판 및 체적 성형 금형 개발 적용시 Fig. 19와 같은 금형내 선택적 재료 배치를 통한 금형 윤활 특성과 내마모성/내구성을 향상 시키는 고 윤활/고 내마모성 금형 개발에 대한 연구가 확대될 것으로 판단된다. 특히 본 기술의 경우 고장력 강판 및 고강도 재료가 자동차/항공 산업등에 활용이 증가됨에 따라 금형의 내마모성 향상을 위하여 관련 산업체 필수적으로 개발되어야 할 기술로 생각된다. 하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술이 고 윤활 특성 및 고 내마모성 금형 개발에 적용되기 위해서는 금형 재료와 Hard facing 재료의 접합/용접 특성 향상을 위한 재료 선정과 적층 기술개발, 금형내 기능성 재료 배치를 위한 금형 특성 분석 및 설계 기술 개발, 적층 부위 표면 조도 향상 기술 개발 등이 필요할 것으로 사료된다.

하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술의 적용분야로 가장 많을 것으로 사료되는 분야는 금형의 쾌속 보수으로써 금형 재활용을 통한 금형 재료/제작 에너지 감소 및 원가 절감/납기 단축의 산업적 요구에 적극 대처할 수 있다. 그러므로 하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술 활용 금형 쾌속 보수 기술이 금형 산업체의 금형 개발과 보수에 폭넓게 적용될 것으로 생각된다. 하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술 활용 금형 쾌속 보수 기술의 산업계 적용을 확대하기 위해서는 CAD/CAM/CAE 기반 최적 초기 적층 형상 생성 기술, 금형 재료와 보수 재료의 접합/용접 특성 향상 기술, 적층 경로 생성 기술, 쾌속 보수에 따른 금형 성능 변화 최소화 기술 및 적층 부위 표면 조도 향상 기술 개발 등이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

선택적 소결 공정이 개발된 이후부터 지금까지 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술은 자동차/전자/항공/금형 및 교육분야 등에 폭넓게 적용되고 있다. 특히 금형 분야에 대한 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술의 적용은 지난 20년 동안 지속적으로 확대되고 있다.

사출 성형 금형 분야에서는 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술을 이용하여 3차원 형상 적응형 냉각 채널을 가진 고속/균일 냉각 금형 및 다종 재료로 구성된 열 관리 금형과 같은 고생산성/고에너지 효율 사출 성형 개발에 대한 학문적/산업적 연구가 확대될 것으로 생각된다.

박판 및 체적 성형 금형 분야에서는 금형의 표면 윤활 특성과 내마모성/내구성을 향상 시키는 고 윤활/고 내마모성 금형 개발에 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술이 적극 활용될 것으로 사료된다. 특히 박판 및 체적 성형 금형이 많이 활용되는 자동차/항공 산업분야 고장력/고강도 재료가 많이 활용됨에 따라 금형 기술 개발 분야에서 해결하여야 하는 고 내마모성 문제에 대한 기술적 해결 방안을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

금형 쾌속 보수의 경우 금형 재활용을 통한 금형 재료/제작 에너지 감소 및 원가 절감/납기 단축이 가능하며, 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술이 가장 많이 활용될 수 있는 금형 기술로 사료된다.

직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술의 경우 금형 제작과 제작된 금형으로 제품 성형시 에너지 사용량 감소와 제품 생산량/품질 향상을 도모할 수 있어, 금형 산업의 녹색화를 가속시킬 수 있는 핵심 기술로 판단된다.

그러나 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술의 금형 개발/제작 적용시 금형의 고 정밀화와 제작시간 단축을 위하여 기계가공과 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술 및 후처리 공정이 통합된 금형 제작용 하이브리드 직접식 금속 쾌속틀링/생산 기술에 대한 계속적인 연구가 진행되어야 될 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Ahn, D. G. and Yang, D. Y., "Principle of Rapid Prototyping and Its Trends," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No.10, pp. 7-16, 2005.
2. Wohlers, T. T., "Wohlers Report 2007: Rapid

- Prototyping & Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report," Wohlers Associates, 2006.
3. Levy, G. N., Schindel, R. and Kruth, J. P., "Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) Technologies, State of the Art and Future Perspectives," *Annals of the CIRP*, Vol. 52, No. 2, pp. 589-609, 2003.
 4. Himmer, T., Techel, A., Nowotny, S. and Beyer, E., "Recent Developments in Metal Laminated Tooling by Multiple Laser Processing," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 24-29, 2003.
 5. <http://www.prometal.com>
 6. <http://www.3DSsystems.com>
 7. <http://www.eos-gmbh.de>
 8. <http://www.optomec.com>
 9. <http://www.pom.net>
 10. <http://www.mcp-group.de>
 11. <http://www.inssteck.com>
 12. <http://www.arcam.com>
 13. Hopkinson, N., Hague, R. J. M. and Dickens, P. M., "Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age," John Wiley & Sons Ltd., 2006.
 14. Knights, M., "Rapid Tooling It's Faster in Molding, Too," *Plastic Technology Online Article*, pp. 1-6, 2003.
 15. Wimpenny, D. I., Bryden, B. and Pashby, I. R., "Rapid Laminated Tooling," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 138, No. 1, pp. 214-218, 2003.
 16. Park, Y. and Colton, J. S., "Failure Analysis of Rapid Prototyped Tooling in Sheet Metal Forming-V Die Bending," *Transactions of the ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 127, No. 1, pp. 116-125, 2005.
 17. Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, M. S., Han, G. Y., Kim, J. S., Moon, H. S. and Yoon, Y. S., "Investigation into the Development of Deep Drawing Tools with Small size for Electronic Parts Utilizing the CAE and RP/RT Technology," *Proc. of KSPE Autumn Conference*, pp. 334-337, 2005.
 18. Kolleck, R., Pfanner, S. and Warnke, E. P., "Development of Cooled Tools for Press Hardening of Boron Steel Sheet," *Key Engineering Materials*, Vol. 344, pp. 225 - 232, 2007.
 19. Xu, X., Sachs, E. and Allen, S., "The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 41, No. 7, pp. 1265-1279, 2001.
 20. Himmer, T., Nakagawa, T. and Anzai, M., "Lamination of Metal Sheets," *Computers in Industry*, Vol. 39, No. 1, pp. 27-33, 1999.
 21. Sachs, E., Wylonis, E., Allen, S., Cima, M. and Guo, H., "Production of Injection Molding Tooling with Conformal Cooling Channels Using the Three Dimensional Printing Process," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 40, No. 5, pp. 1232-1247, 2000.
 22. Dalgarno, K. W. and Stewart, T. D., "Manufacture of Production Injection Mould Tooling Incorporating Conformal Cooling Channels via Indirect Selective Laser Sintering," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 215, pp. 1323-1332, 2003.
 23. Kim, J. D., Hong, S. K., Lee, K. H., Kim, M. A. and Lee, D. K., "Implementation of 3-Dimensional Cooling Channel in Injection Mold Using RT Technology," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 199-200, 2006.
 24. Ahn, D. G. and Park, S. H., "Manufacturing of Injection Mold with a High Cooling Rate Using DMT Rapid Prototyping Process," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 18-20, 2006.
 25. Mazumder, J., Dutta, D., Kikuchi, N. and Ghosh, A., "Closed Loop Direct Metal Deposition: Art to Part," *Optics and Lasers Engineering*, Vol. 34, No. 4-6, pp. 397-414, 2000.
 26. Beaman, J. J., Atwood, C., Bergman, T. L., Bourell, D., Hollister, S. and Rosen, D., "WTEC Panel Report on Additive/Subtractive Manufacturing Research and Development in Europe," *World Technology Evaluation Center*, pp. 68-69, 2004.
 27. Ahn, D. G. and Kim, H. W., "Investigation into Variation of Thermal Characteristics for the Mould with Multi-materials," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 223-224, 2007.
 28. Walczyk, D. F. and Hardt, D. E., "A New Rapid Tooling Method for Sheet Metal Forming Dies," *Proceedings of the 5th International Conference on Rapid Prototyping*, pp. 275-289, 1994.
 29. Park, Y. and Colton, J. S., "Failure Analysis of Rapid

- Prototyped Tooling in Sheet Metal Forming-Cylindrical Cup Drawing,” Transactions of the ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 127, No. 1, pp. 126-137, 2005.
30. Nakagawa, T., “Advances in Prototype and Low Volume Sheet Forming and Tooling,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 98, No. 2, pp. 224-250, 2000.
31. Kuzman, K., Geiger, M., Coremans, A., Cser, L. and Kruth, J. P., “Rapid Sheet Metal Development Chain Supported by Laser Sintered Active Tool Parts,” Proceedings of the 6th International Conference on Technology of Plasticity, Vol. II, pp. 999-1004, 1999.
32. Cheah, C. M., Chua, C. K., Lee, C. W., Lim, S. T., Eu, K. H. and Lin, L. T., “Rapid Sheet Metal Manufacturing. Part 2: Direct Rapid Tooling,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 19, No. 7, pp. 510-515, 2002.
33. Morrow, W. R., Qi, H., Kim, I., Mazumder, J. and Skerlos, S. J., “Environmental Aspects of Laser-based and Conventional Tool and Die Manufacturing,” Journal of Cleaner Production, Vol. 15, No. 10, pp. 932-943, 2007.
34. Shi, D. P. and Gibson, I., “Surface Finishing of Selective Laser Sintering Parts with Robot,” Proceedings of the Solid Freeform Symposium, pp. 27-36, 1998.
35. Shi, D. and Gibson, I., “Improving Surface Quality of Selective Laser Sintered Rapid Prototype Parts Using Robotic Finishing,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 214, No. 3, pp. 197-203, 2000.
36. Ahn, D. G. and Kim, H. W., “Rapid Tooling of Injection Mould with a High Cooling Rate Using Laser-aided Direct Metal Tooling (DMT) Process,” Proceedings of the 9th International Conference on Technology of Plasticity, pp. 545-548, 2008.