



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2020년 8월
석사학위 논문

직접에너지증착 공정을 이용한 STD61 금속분말의 적층부 특성 분석

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

정 용 주

직접에너지증착 공정을 이용한 STD61 금속분말의 적층부 특성 분석

Characterization of the Deposited Layer obtained by
Direct Energy Deposition Process of STD61 Metal Powder

2020년 8월 28일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

정 용 주

직접에너지증착 공정을 이용한 STD61 금속분말의 적층부 특성 분석

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 5월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

정 용 주

정용주의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 조교수 손윤철 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

2020년 6월

조선대학교 대학원

CONTENTS

List of Figures	III
List of Tables	IV
Abstract	V
1 장. 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향	3
1.3 관련 이론	5
1.4 연구 목적 및 방법	9
1.4.1 연구 목적	9
1.4.2 연구 방법	10
2 장. STD61 금속분말의 적층부 내구성 실험	11
2.1 사용 소재와 실험 방법	14
2.1.1 사용 소재	14
2.1.2 적층 조건	17
2.2 재질별 기계적 특성	19
2.2.1 실험 방법	19
2.2.2 기계적 성질	22

3 장 . STD61 금속분말의 적층부에 대한 구조해석	28
.....	28
3.1 구조해석 방법	28
3.1.1 해석 모델	28
3.1.2 해석 조건	29
3.2 응력 및 변형 특성	30
3.2.1 플라스틱 금형강	30
3.2.2 STD61 금속분말의 적층부	33
4 장 . 결론	36
참고문헌	38

List of Figures

Fig. 1.1 Water leak due to crack in the conner part on hot spot of plastic parts	2
Fig. 1.2 Three-dimensional cooling channel in core insert and core insert produced by DMLS process	3
Fig. 1.3 Comparison of PBF and DED process	6
Fig. 1.4 Schematic diagram of direct energy deposition(DED) process	8
Fig. 2.1 Surface temperature variation of HR-750 and HP4MA_HH	12
Fig. 2.2 MX-600 (DED equipment)	17
Fig. 2.3 Hardness measurement location of deposition layer	19
Fig. 2.4 Stand specimen for tensile test	20
Fig. 2.5 Hardness profiles of original HP4MA_HH and deposition layer on HP4MA_HH obtained with STD61 metal powder	22
Fig. 2.6 Hardness profiles of original HR-750 and deposition layer on HR-750 obtained with STD61 metal powder	23
Fig. 2.7 Stand specimen for tensile test(product)	25
Fig. 2.8 Direction of deposition layer	26
Fig. 2.9 Optical microscopy of STD61 specimen of deposition layer	27
Fig. 3.1 Structural analysis model	28
Fig. 3.2 Distribution of stress and deformation in HP4MA_HH model	30
Fig. 3.3 Distribution of stress and deformation in HR-750 model	31
Fig. 3.4 Distribution of stress and deformation in the deposition layer of STD61 on HR-750 mode	33
Fig. 3.5 Distribution of stress in the deposition layer of STD61 on HR-750 showing maximum stress	34

List of Table

Table. 1.1	Comparison of PBF and DED process	7
Table. 2.1	Comparison of surface temperature variation by material	13
Table. 2.2	Selection criteria of material (main Core)	14
Table. 2.3	Material properties of base metal and deposition layer	15
Table. 2.4	Chemical composition of base metal and deposition layer	15
Table. 2.5	Specification of DED equipment	18
Table. 2.6	Stand specimen dimension for tensile test	20
Table. 2.7	Universal test machine	21
Table. 2.8	Hardness results of HP4MA_HH and deposition layer on HP4MA_HH obtained with STD61 metal powder	23
Table. 2.9	Hardness results of HR-750 and deposition layer on HR-750 obtained with STD61 metal powder	24
Table. 2.10	Hardness measurement result according to material and deposition layer	24
Table. 2.11	Tensile strength of base metal and deposition layer	25
Table. 2.12	Tensile strength of the deposited layer	26
Table. 3.1	Structural analysis results	34

ABSTRACT

Characterization of the Deposited Layer obtained by Direct Energy Deposition Process of STD61 Metal powder

Jung Yong Ju

Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.

Department of Welding and Joining Science
Engineering,

Graduate School of Chosun University

Plastic parts used in the modern society are made by injection molding, and we are making efforts to create profits by strengthening mold durability and improving productivity.

The most basic for improving productivity is the production cycle time, which is the cooling efficiency that affects the most. In order to maximize this cooling efficiency, we want to improve the cooling efficiency using a thermally conductive material, but to improve the durability, which is a disadvantage of the thermally conductive material, we use the DED method (Metal 3D Print) to enhance durability and secure productivity accordingly. For this purpose, this study was conducted.

Thermal conductivity through lamination of DED method to the weakly

durable Conner part by using laser beam of metal powder on the thermally conductive material (Be-Cu alloy steel) to retain the strength, hardness, and yield strength of the pre-hardened steel used as a material for the mold. We want to improve the disadvantages of the material.

In this study, a method of improving productivity and improving mold durability was proposed to take advantage of the thermally conductive material and to increase profits by using the Metal 3D Print DED method to enhance durability.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

현대 산업의 기초를 이루고 있는 금형 산업은 인류의 발전에 많은 편의를 제공했다. 금형 산업도 사출 금형, 프레스 금형, 압출 금형, 고무 금형, 다이캐스팅 등 다양한 제조 방법에 따라 분류가 된다. 다양한 제조 분야 중에 가장 보편적으로 알고 있는게 플라스틱 성형을 위한 제조 방법인 사출 금형 및 사출 성형이다.

사출 성형 공정에서 가장 중요시 요구되는 부분이 오래 사용할 수 있는 금형의 내구성과 제품을 짧은 시간에 생산을 많이 할 수 있는 생산성에 집중한다.

그로 인하여 사출 금형 제작 시 고려하여야 하는 부분이 금형 제작 시 사용하는 강재의 내구성을 갖는 성질, 생산성을 극대화할 수 있도록 냉각 시스템의 효율을 극대화할 수 있는 강재의 열전도율 등의 성질을 고려하여야 한다.

사출 금형 분야에서 생산성 극대화를 위한 가장 많은 관심과 기술이 요구되고 집중적으로 개선되어야 하는 부분이 냉각 효율적인 측면이다. 생산성 향상을 위한 플라스틱 부품의 Hot Spot 형상 부분 (냉각이 전달되지 않아 뜨거워지는 부분)에 열전도성이 좋은 강재를 사용하면서 발생 되는 내구성 저하 부분에 대한 개선과 사출 압력에 의한 마모가 되는 부분의 강도 개선이 필요하다.

예를 들어 Fig 1.1의 사례에 보듯 냉장고에 사용하는 플라스틱 부품 CAP DOOR의 Hot Spot 형상 부에 플라스틱 금형강에 사용하는 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재의 사용 시 강재가 가지고 있는 기계적 성질 중 하나인 연신율이 프리하든강 강재 대비 낮은 값을 갖다 보니 기계 가공 시 발생하는 충격과 사출 성형 시 압력에 응력 집중 때문에 코너부에 코어의 크랙이 발생하여 냉각수가 누수되는 경우가 빈번히 발생한다.

따라서 플라스틱 부품의 Hot Spot 형상 부분에 채용되는 열전도성 강재에 대한 건전성 및 내구성 향상 방안에 관한 연구가 요구되어지고 있는 실정이다.



Fig 1.1 Water leak due to crack in the corner part on hot spot of plastic parts

1.2 연구 동향

사출 금형에서 냉각 효율이 떨어지는 경우는 냉각 채널이 들어갈 수 없는 형상이거나 곡면 형상으로 인하여 표면과 냉각이 멀어진 상태에서 가공이 되어 열전달이 미흡하여 Hot Spot 부위가 발생하여 효율이 떨어진다. 그 문제점을 개선하기 위하여 가장 보편적으로 활용하는 방식이 열전도성이 좋은 베릴륨구리 합금강 강재를 Hot Spot 부위에 설치하고 베릴륨구리 합금강 강재의 열전도성이 우수한 성질을 이용하여 근처까지만 냉각 채널을 가공하고 열전도에 의하여 간접 냉각이라도 되게 설계를 하였다.

최근에는 3D Print 기술이 발달 되면서 한국생산기술연구소에서 Fig 1.2처럼 적층 가공을 이용한 열간 성형용(사출 성형, 다이캐스팅 등) 금형 제작 기술연구를 진행하였다. 연구 결과에 따르면 적층 공법을 통한 3D 냉각 채널을 적용하여 냉각 효율을 개선하여 생산성이 향상 효과를 볼 수 있었다.



Fig 1.2 Three-dimensional cooling channel in core insert and core insert produced by DMLS process ^[1]

해당 연구에서는 수지로부터의 열이 코어로 전달될 때, 코어가 깊어서 중심부의 열이 발산되지 못하여 집중되어 상대적인 냉각 불균일로 인해 휨, 변형이 발생한 것으로 판단되어지는 냉각 효율이 저하되는 부분에 대하여 개선하고자 사출 금형의 하형 코어 내부에 냉각 채널을 위치시켜 입구를 통해 유입된 냉각수가 벽면을 따라 순환하고 출구로 배출되는 방식으로 3차원적으로 설계를 하여 사출 금형의 타당성을 검증하는 방식으로 연구를 하여 Fig 1.2와 같이 가동 측에 냉각라인을 추가하고, 그 결과로 냉각 편차에 의한 변형이 해소되었음을 연구하였으나, 해당 연구에서는 3차원적이지만 냉각 채널을 삽입할 수 있는 공간이 확보된 상태이지만^[2], 본 연구에서는 형상이 냉각 채널을 삽입할 수 없는 부분에 대한 냉각 효율을 개선하고자 한 연구이다. 그에 따라, 더 좋은 최적화된 냉각 효과를 추구하기 위하여 각 방식의 장점을 취하여 열전도성 강재와 3D 프린트 방식인 직접에너지증착(Direct Energy Deposition, DED)공법을 병행 적용하고자 하였다.

해외의 연구 동향 대부분은 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM) 방식에 대한 연구를 하고 있으며, SLM의 높은 표면 거칠기, 최종 부품의 다공성, 높은 전력 밀도에 의한 표면 품질 저하, 높은 잔류 응력 및 균열로 이어질 수 있는 부분의 개선에 대한 연구를 하고 있으며, 이와 관련하여, 새로운 스캐닝 전략, 레이저 정의 및 빔 형상 접근법에 대한 연구가 이루어지고 있다.

국내외에서 진행되는 연구에서는 적층에 대한 강도 연구 및 적층 방식에 대한 검증의 연구 사례가 많으나, 본 연구에서는 금형산업에 적용하고자 메탈 3D 프린트 방식 중의 하나인 DED 공법을 활용하여 베릴륨구리 합금강에 적층하여 소재의 기계적 성질 향상을 통한 내구성 증가 및 냉각 효율 최적화 연구를 하였다.

1.3 관련 이론

3D 프린팅의 산업 규모는 전체 제조업과 비교 하였을 경우 미흡한 수준이지만 매년 고성장하고 있고, 새로운 적용 분야에 따라 시장규모는 급속히 성장할 가능성이 크다. 특히 우주항공, 방산 분야 등에 적용되는 금속 장비와 소재 시장은 평균 성장률을 상회하여 성장하고 있다. 2018년 97.95억 달러로 전년 대비 33.5% 성장하였으며, 2024년까지 24% 성장치를 가정한다면 355.7억 달러에 이를 전망이다.

우리나라의 시장규모는 2018년도에 전년 대비 16.3% 성장한 3,958억 원으로 시장 규모가 작고 성장률도 전 세계의 절반에 불과하다. 최근 몇 년간 방산 분야에서의 공공수요와 의료분야에서의 민간 기업이 시장을 견인해 왔지만, 우주항공 및 일반 산업 분야는 확산이 매우 더딘 상황이다. 국내 3D 프린팅 산업의 저성장 배경으로는 수요기업의 투자 보수성, 융합형 인력의 부족 등으로 인하여 저성장하고 있다.

전 세계 3D 프린팅 설비 판매량은 비교적 형상 자유도 구현에 유리하고, 정밀한 분말베드용융법(Powder Bed Fusion, PBF) 방식이 월등히 많은 것으로 나타났다.

PBF 방식은 GE Additive, EOS, SLM, 3D Systems 등에서 취급하고 있으며, 최근 멀티 레이저, melt pool monitoring, 분말 교환장치 등 생산성 향상을 위한 기술들이 상용화되고 있다. 국내에는 대건테크, 원포시스 등이 개발에 성공했으며, 대건테크의 경우, 지르코늄, 마그네슘 등 활성 금속 전용 장비를 세계 최초로 개발하여 주목을 받고 있다.

DED 방식은 Trumpf, Sciaky, Norsk Titanium, InssTek 등이 개발, 판매하고 있으며 최근에는 5축 시스템을 도입하여 형상의 한계를 극복하기 위해 노력하고 있다. 또한, 적층과 절삭을 반복하는 하이브리드 머신이 DMG Mori와 아직 그리고 국내 기업인 맥스로텍에서 개발하여 보급하고 있다.

우리나라는 138대로 약 2%를 차지하고 있으며, 전 세계 판매 비율이 미국은 42.7%, 이스라엘이 25.2%, 유럽이 19.9%를 차지한 것을 고려하면 한국의 금속 장비

보급은 매우 낮다고 볼 수 있다. 지난해 기준으로 국내에 보급된 금속 적층 장비는 PBF 방식이 112대, DED이 방식 17대, 하이브리드 머신은 9대로 총 138대이다.

금속분말을 사용하여 적층하는 방식은 금속분말을 아토마이저 방식 등으로 급랭하여 구형화된 분말을 대부분 사용하며, Directed Energy Deposition(DED)와 Powder Bed Fusion (PBF) 방식이 널리 사용된다.[2]

PBF와 DED 방식에 대한 특성을 살펴보면, Table 1.1에 나타난 바와 같이 PBF 방식은 분말 공급장치에서 일정한 면적을 가지는 분말 베드 위에 수십 μm 의 분말 층을 깔고 레이저 또는 전자빔을 설계된 도면의 형상에 따라 선택적으로 조사한 후 한 층씩 용융시켜 쌓아 올라가는 방식이다. PBF 방식은 복잡한 형상 구현이 가능하여 항공, 자동차 부품, 의료, 헬스케어, 건설, 방산 산업 등에 다양하게 사용된다. 또한, DED 기술은 고출력 레이저 빔을 기판이 되는 금속 표면에 조사하면 순간적으로 melt pool의 생성과 동시에 공급되는 금속분말을 실시간으로 공급하여 적층하는 방식이다.[3]

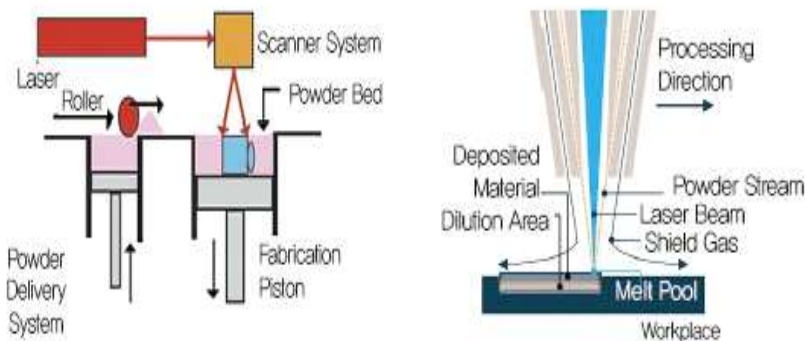


Fig 1.3 Comparison of PBF and DED process

DED 기술의 장점은 강도 및 연신율 등의 기계적 물성이 매우 우수하고, 금속 제품의 조직이 치밀하여 단일 분말뿐만 아니라 이종 금속분말의 사용이 가능하여 표면 내구성을 위해 다층 구조도 가능하다. 따라서 손상된 금속 부품이나 금형 등의

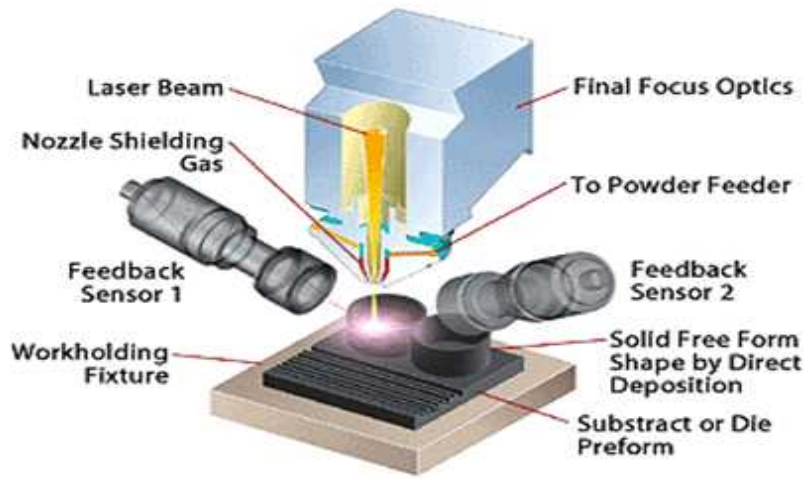
보수 재생이 가능하고, 면적이 큰 제품의 적층에 유리하다. 단점으로는 복잡한 over-hang 구조가 불가능하며, 내부의 부분적 중공화가 발생하여 경량화와 구조 강성을 위한 적층제조 장점 살리기에는 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 일반적인 용접 방식과 유사하게 분말 금속을 이용하여 고출력 레이저 빔을 활용하여 직접 적층을 하여 열 변형이 작고 소재에 열적 리스크가 작아서 별도로 예열, 후열을 진행하지 않아도 보수 작업 시 쉽게 사용할 수 있고, 또한 생산성이 비교적 높고, 반복 재현성이 우수하고 사용하는 분말에 따라 필요한 강도를 구현할 수 있으며, 이종 금속분말의 사용이 가능하여 직접분사 적층공정 (DED)을 사용하여 연구를 진행하였다.

PBF 방식과 DED 방식의 비교는 Table 1.1 과 같다.

Table 1.1 Comparison of PBF and DED Process ^[4]

방식	PBF	DED
적층속도	5~20 cm^3/h (~40~160 g/h)	Up to 0. kg/h (~70 cm^3/h)
정밀도	$\pm 0.02 \sim 0.05mm / 25mm$	$\pm 0.125 \sim 0.25mm / 25mm$
표면조도	Ra 4 ~ 10 μm	Ra 4 ~ 10 μm
최대크기	630mm * 400mm * 500mm	2,000mm * 1,500mm * 750mm
주요소재	Steel, Al, Ti, CoCr Ni alloy, Bronze	Steel, Ti, Ni Base, Cer
응용분야	Molds and Die(Tool inserts) implants All types of component	Repair of worm component Modification of tooling for re-use Shaft, ducts, airfoil and coating
취급회사	GE Additive, EOS, SLM, 3D Systems 대건테크, 원포시스	Trumpf, Sciaky, Norsk Titanium, InssTek, DMG Mori, 마작 맥스로텍



(a) Principle



(b) Application

Fig. 1.4 Schematic diagram of direct energy deposition(DED) process

1.4 연구 목적 및 방법

1.4.1 연구 목적

사출 금형의 제작 시 일반적으로 생산성 향상을 위하여 냉각 효율을 최적화하도록 냉각 설계를 하고 그에 따라 사용 강재를 선택한다.

일차적으로 제품의 형상에 따라 최적화된 냉각 설계가 우선이겠지만 형상이 좁은 부분은 냉각 채널이 들어갈 수가 없어서 Hot Spot 부위가 발생 되어 냉각 불균일에 의한 생산성이 저하 된다. 이를 개선하기 위하여 여러 가지 형상적인 부분을 변경 하기도 하고, 금형 구조적 요소를 변경하여 개선하기도 하지만 디자인을 훼손하지 않고 진행하다 보면 취약한 구조가 발생되어 냉각 효율이 저하되는 경우가 종종 있다. 그러면 사용하는 강재의 특성을 활용하여 냉각 효율이 좋은 열 전도성 강재를 사용하여 Hot Spot 부위의 문제점을 해결하기도 한다.

사출 금형 산업에서 일반적으로 Main 강재는 프리하든강(Pre-Harden steel)을 사용하나 위에서 말했듯이 Hot Spot 형상 부위에 냉각 효율을 극대화하기 위하여 열전도성 강재를 사용한다. 열전도성 강재로 주로 사용하는 강재는 베릴륨구리 합금강인 HR-750, MOLD-MAX, HIT 75 등을 주로 사용한다. 하지만 열전도성 강재 재료의 특성상 내구성이 약하다는 단점이 있는데 그에 따라 코너 부위에서 코어의 크랙이 자주 발생된다.

따라서 본 연구에서는 3D 프린팅 방식의 하나인 DED (Direct Energy Deposition) 공법을 적용하여 열전도성 강재의 내구성 향상 시키고자 한다. 이를 위하여 플라스틱 성형용 금형에서 사용하는 두 가지 소재 프리하든강 HP4MA_HH, 베릴륨구리 합금강 HR-750과 레이저를 이용하여 베릴륨구리 합금강에 합금공구강 STD61 금속 분말을 적층한 소재에 대한 기계적 성질(인장강도, 경도)을 평가하고 아울러 구조 해석을 실시하여 건전성 및 내구성을 확보하고자 한다.

1.4.2 연구 방법

사출 금형과 제작에 사용되는 코어 육성 방식에는 아르곤 및 레이저 용접 등이 주로 사용되고 있다. 하지만 용접 시 문제가 되는 것은 용접 진행 사전에 예열, 용접 후에 후열을 진행하여 강재의 용접 결함 발생 가능성을 줄이는 작업을 하여 품질향상을 해야 하는 과정 및 원소재 보다 경도 및 강도가 저하되어 내구성 측면에서 떨어지는 단점을 보완하기 위한 연구의 필요성이 증가 되었다.

최근 3D 프린트 방식이 발달 되면서 플라스틱 소재가 아닌 금속 소재의 분말을 이용하여 메탈 3D 프린트 방식으로 적층을 함으로써 코어 육성이 쉬운 기술들이 발달 되었으며, 그 공법들을 활용하여 냉각 효율의 향상을 위한 Hot Spot 부위에 베릴륨구리 합금강을 사용하고 취약부위에 금속분말을 이중 적층하여 내구성 확보를 위하여 금형의 내구성 향상 및 생산성 효율 향상을 위한 다음과 같은 실험 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 기본 소재는 플라스틱 금형강으로 사용되는 프리하드강 HP4MA_HH 와 베릴륨구리 합금강 HR-750을 기본 소재로 하여 합금공구강 STD61 금속분말을 DED 공법에 의한 3D 프린팅으로 이중소재 적층을 통해 시편을 제작하여 각 소재별 적층부의 기계적 성질을 평가하였다. 아울러 구조 해석을 통하여 적층부의 변형량 과 최대 응력 값을 비교, 평가하여 합금공구강 STD61 금속분말 적층에 따른 열전도성 강재의 내구성 강화 및 금형 마모 부분의 강도 향상을 통한 금형 내구성 증가에 기여할 수 있는지에 대해 시험을 진행하였다.

제 2 장 STD61 금속분말의 적층부 내구성 실험

금형에서 장기 사용 시 발생하는 취약부 개선 및 열전도 효율 향상을 통한 냉각 효율 개선 증가를 위하여 사용하는 베릴륨구리 합금 강재의 크랙 발생 취약부를 개선하고자 DED 공법을 활용한 이중재질 적층을 통하여 프리하든강(Pre-Harden steel) 강재, 베릴륨구리 합금강 강재 위에 플라스틱 금형강 보다 기계적, 물리적 성질이 우수한 분말 금속 소재를 고출력 레이저 빔을 활용하여 적층을 진행하여 내구성 개선 가능 여부를 확인하고 이를 활용한 생산성 향상에 활용할 수 있도록 본 연구에서 살펴보았다.

우선 플라스틱 금형강으로 사용하는 베릴륨구리 합금 강재와 프리하든강 소재의 물리적 성질인 열전도성과 열효율에 대한 비교 및 사전검증을 확인하기 위하여 프리하든강 HP4MA_HH와 베릴륨구리 합금강 HR-750의 강재를 냉각수가 흐를 수 있도록 설계, 시편 제작을 통한 시편에 흐르는 냉각수의 온도 변화와 시간의 변화에 따른 변화 내용을 측정하였다.

측정 조건은 흐르는 냉각수 온도를 20℃, 5℃로 변화하면서 시간에 따른 각 소재의 표면 온도 변화량 측정을 하였고, 그 후 냉각수 매체를 온수로 변경하여 동일한 방식으로 온수 온도를 50℃, 60℃로 변화하면서 시간에 따른 각 소재의 표면 온도 변화량을 측정하였다. 각 과정별 온도 변화를 보기 위하여 소재별 초기 온도를 측정하였다.

강재별 냉각수 온도 변화에 열전도율에 따른 변화량을 분석해 보면 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재가 빠른 시간에 온도 변화에 반응하는 것을 알 수 있다.

품질 확보를 위한 냉각수 대신 온수 사용하는 경우를 위한 온수 적용 시 강재별 냉각수 온도 변화에 따른 열전도에 따른 변화량 분석 시에도 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재가 먼저 온도 변화에 반응하는 것을 알 수 있다.

냉각수의 온도 변화와 시간에 따른 금형 표면 온도의 변화는 Table 2.1과 같으며, 표에서 보듯이 베릴륨구리 합금강 HR-750의 온도 전도율, 열전도율이 높아서 온도를 낮게 하거나 온도를 높게 해야 할 때 베릴륨구리 합금강 HR-750 소재를 사용하면 냉각수 온도에 따라 빠르게 반응하고 그 온도로 코어 온도를 유지하는 것을 볼 수 있었으며, 이 측정 결과로 베릴륨구리 합금강 HR-750 금형 코어에 발생하는 Hot Spot 형상 부의 온도에 대한 리스크 사항에 대하여 해결 가능하다고 보았다.

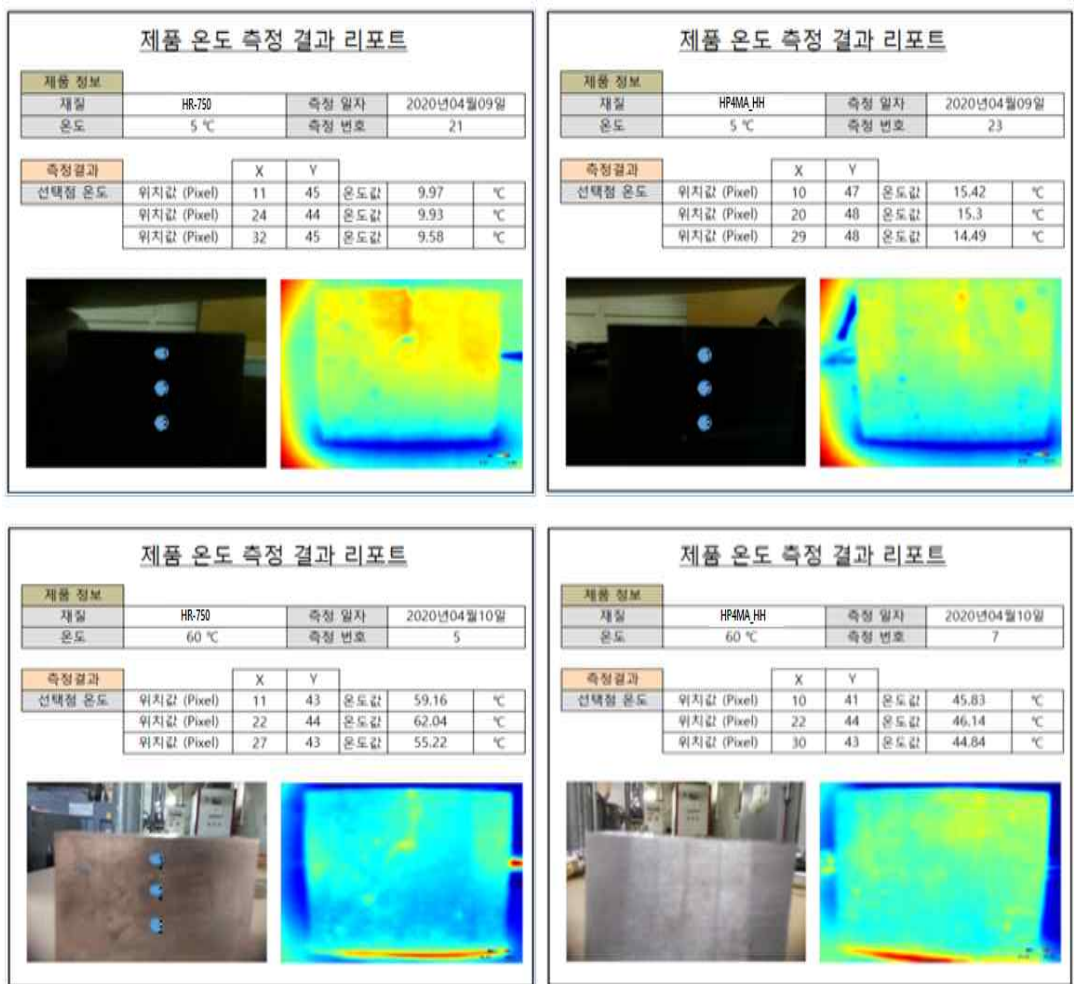


Fig. 2.1 Surface temperature variation of HR-750 and HP4MA_HH

Table 2.1 Comparison of surface temperature variation by material

구분			Core 온도		비고
			HR-750	HP4MA_HH	
냉각수	20 °C	10분	21.5°C	22.0°C	HP4MA_HH 대기 온도에 열 영향을 받음
		20분	20.5°C	23.5°C	
	5 °C	10분	15.0°C	18.0°C	HR-750가 냉각이 더 빨리 잘됨.
		20분	10.0°C	15.0°C	
온수	50 °C	10분	50.0°C	41.5°C	HR-750가 온수 열이 더 빨리 전달됨.
	60 °C	5분	60.0°C	45.0°C	
		15분	60.0°C	55.0°C	

이렇게 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재의 열전도율을 활용하여 국부적으로 Hot Spot 형상 부에 필요한 부분에 냉각수 온도를 잘 전달되게 하여 생산성 지연을 초래하는 인자를 삭제하므로 냉각 효율을 최적화하여 생산성 효율이 높은 금형을 제작하고자 하는 연구이다.

2.1 사용 소재와 실험 방법

2.1.1 사용 소재

금형의 제작 시 품질향상 및 투자 비용 절감을 위하여 금형 강재를 선택하고 일반적으로 금형용 코어에 사용하는 강재는 프리하든강과 열처리강을 사용하고 부품의 용도, 특성에 따라 Table 2.2에서 선택한다.

Table 2.2 Selection criteria of material (main Core) ^[5]

구분	RESIN	RESIN	금형 소재	비고
외관	부식 / Spray	PS(HI), ABS PC/ABS, PA	HP4MA NAK80 HP4MA_HH	하코아 : HP4A 可
	고광택 (투명) (반투명)	PC, PMMA ABS+PMMA ABS, HIPS GPPS	CENA1 NAK80 STAVAX(열)	하코아 : HP4A 可
내장	구동품	POM	STD61(열) STAVAX(열) NAK80	JIS 3등급 이상 → STAVAX(열)
	일반 내장품	ABS, HIPS, PP, POM, PC, PC/ABS PC/GF	HP4MA HP4MA_HH NAK80 STAVAX(열) STD61(열)	-
기능	내열 고강도	PET, LCP CARILON PPO, PPS PEEK, PBT	STD61(열) STAVAX(열)	GEAR → STAVAX(열)
	LENS 부품	TOPAS ZEONEX	STAVAX(열)	-

Table 2.3 Material properties of base metal and deposition layer [5]

소재		사용 경도 (HRC)	기계적특성			열전도율 W/(m·K) (Cal/cm·sec℃)		열팽창계수 (x10 /℃)	
			항복강도 Kgf/mm ² (N/mm ²)	인장강도 Kgf/mm ² (N/mm ²)	연신율 (%)	100℃	200℃	100℃	200℃
모재	HP4MA (HH)	35~39	104~ 128	85~ 107	14~ 20	39.64	39.27	12.25	12.46
	HR-750	18~24	60	70	10	-	130	-	17.0
분말	STD61	50~55	109	127	12	-	30.1	11.7	12.5

Table 2.4 Chemical composition of base metal and deposition layer [5]

소재		화학적성분								
		C	S	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	P
모재	HP4MA (HH)	0.25 ~ 0.35	-	-	-	0.4~ 0.9	1.5~ 2.1	0.3~ 0.7	-	-
	HR-750	Be:1.9, Co+Ni:0.25								
분말	STD61	0.32 ~ 0.42	0.01 이하	0.8~ 1.2	0.3~ 0.5	-	4.8~ 5.5	1.2~ 1.5	-	0.03 이하

Table 2.3의 강재의 기계적, 물리적 성질 데이터 값 중 열전도율 데이터 값을 보면 베릴륨구리 합금강 HR-750 열전도율은 130으로 일반 프리하든강 HP4MA_HH 39.27 대비 3배 이상의 열전도율을 가지고 있지만, 연신율이 절반 정도의 성질을 가지고 있어서 사출 압력이나 충격에 약하여 코어의 코너부 등이 취약하여 크랙 발생이 쉽다.

본 연구에서는 적층 소재는 일반적으로 열간성형용 합금공구강으로 경도가 높으며, 현장에서 공급 및 비용적인 측면을 고려하여 합금공구가 STD61 금속분말을 사용하였다.

2.1.2 적층 조건

본 연구에서 사용하는 적층 설비는 I사에서 제작한 MX-600 설비이며, 이 장비의 특징은 고기능 부품 생산(Highly functional component production), 리모델링, 수리 및 특수 코팅(re-modeling, repairing and special coatings), 우수한 기계적 성질(Excellent mechanical properties), 상업용 금속분말을 사용하여 사용 가능 (Available using commercial metal powders), 복잡한 형상 구조 제작 가능 (Enables to manufacture of complex shapes structure), 부품 수리 가능 (Enables to repair parts) 등의 특징이 있다.



Fig 2.2 MX-600 (DED equipment)

DED 공법은 “3D 데이터를 활용하여 소재의 연속적인 적층 공정을 통해 3D 입체 형상물을 제조하는 기술” 이라고 ASTM에서 “Additive Manufacturing(AM)” 용어로 표준화되어 있다.

본 연구에서 사용한 적층 설비인 MX-600 설비의 기술제원표는 Table 2.5와 같다.

Table 2.5 Specification of DED equipment ^[6]

	MX-600
Laser Type Ytterbium Fiber Laser	Max. 1,000W
X / Y / Z Stroke A / C Stroke	450*600*380 ~100~+5° /360°
DMT [®] Motion XYZ Linear Gantry + AC Rotary Stage	
Control System	PC-Base Control System with Touch Screen DMT [®] Closed Loop Feedback Control system

실사용 조건은 보호 가스로 아르곤 가스 9 ℓ /min, 분말 공급량은 4 g/min, 분말 이송 가스는 Coaxial 가스 3 ℓ /min, 이송 속도는 850 mm/min, Laser Power 베릴륨구리 합금강은 600W, 프리하든강은 400W를 기본조건으로 적층을 진행하였다.

2.2 재질별 기계적 특성

2.2.1 실험 방법

1) 경도

경도 측정은 프리하드강 HP4MA_HH 모재에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 코어를 Fig 2.3과 같이 제작하여 제작한 코어 중심부를 0으로 하여 좌, 우 20~30mm 간격으로 측정을 진행하였으며, 총 9 포인트를 로크웰 경도 (H_{RC})를 측정하였다.

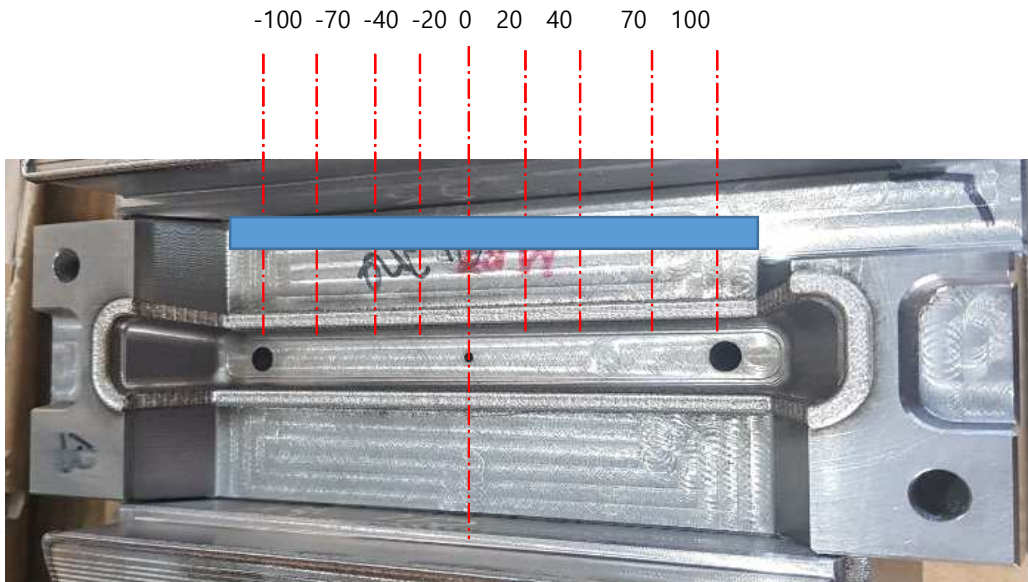


Fig 2.3 Hardness measurement location of deposition layer

측정은 간편 경도 측정기인 M295 Portable Hardness Tester를 활용하여 경도 측정을 진행하였다.

경도 측정기는 W사에서 제작한 M295 휴대용 경도 측정기를 사용하였다.

2) 인장시험

재료의 기계적 성질은 탄성 변형에 대한 저항력인 종 탄성계수, 항복강도, 변형 용이성에 해당하는 연신율과 단면 수축률 그리고 소성변형에 대한 저항력인 인장 강도 등이다. 인장시험은 규정된 형상의 시험편을 제작하여 시험을 진행한다.

본 연구에서는 합금공구강 STD61 금속분말을 사용하여 적층한 소재의 인장강도 특성을 고찰하고자 하였다.

시험편은 KS 14 A 규격에 의거하여 인장 시험편을 제작하였다.

합금공구강 STD61 금속분말로 폭 방향, 길이 방향으로 적층한 소재에 대한 인장 시험을 실시하였다.

Table 2.6 Stand specimen dimension for tensile test

구분	D	B	C	P	R	L	비고
치수조건 (mm)	6	10	40	60	> 1.5D	5D	KS 14 A호
제작시험	6	10	40	36	> 1.5D	31.75	

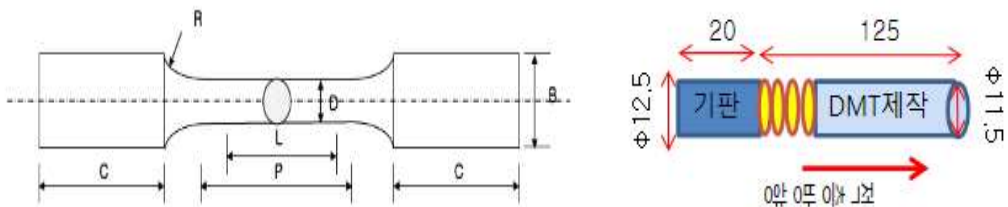


Fig. 2.4 Stand specimen for tensile test

인장시험 조건은 로드셀은 100kN, 인장 속도는 3mm/min, 스트레인 게이지는 평행 부 길이가 50mm 이하이므로 스트레인 측정은 시험 전과 후의 길이를 측정하여 최종 변형률을 산출하였다. 항복강도는 스트레인 0.2%에서 탄성 영역의 직선과 평행하게 선을 그어 만나는 점(0.2% offset)으로 산정하였고, 인장강도는 인장시험 중 가장 높은 강도를 나타내는 응력으로 하였다. 총 시험 횟수는 동일 조건에서 2회를 실시하여 평균값으로 나타내었다.

측정 설비로는 M사에서 제작한 HZ-1004C이고 규격은 Table 2.7과 같다

Table 2.7 Universal test machine

구분	내용
하중 센서	50kg, 100kg, 200kg, 500kg (사용자 선택 1개)
장비 최대 용량	500Kg
단위	Gf, kN, t, kgf, N, lbf/ cm, in, mm 등
측정 정확도	Load cell $\pm 0.5\%$, Encoder $\pm 1\%$
분해능	1/20,000
최대 이동거리	약 800 mm (지그제외)
테스트 속도	1 ~ 500 mm/min
안전장치	Electronic - limit protection, Overload protection
통신	Lan cable or RS232
모터	AC servo motor and drive
파워	220V/50~60Hz, 0.4KW
장비 치수	620*440*1600 mm(L*W*H)
장비 무게	약 90kg

2.2.2 기계적 성질

1) 경도

두 가지 종류의 플라스틱 금형강인 프리하든강 HP4MA_HH 와 베릴륨구리 합금강 HR-750 소재에 대하여 합금공구강 STD61 금속분말을 사용하여 적층한 적층부에 대한 경도분포를 고찰하였다.

Fig 2.5는 순수 프리하든강 HP4MA_HH 모재의 경도와 프리하든강 HP4MA_HH에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 적층부의 경도분포이다. 이에 대한 경도 측정 결과는 Table 2.8과 같다.

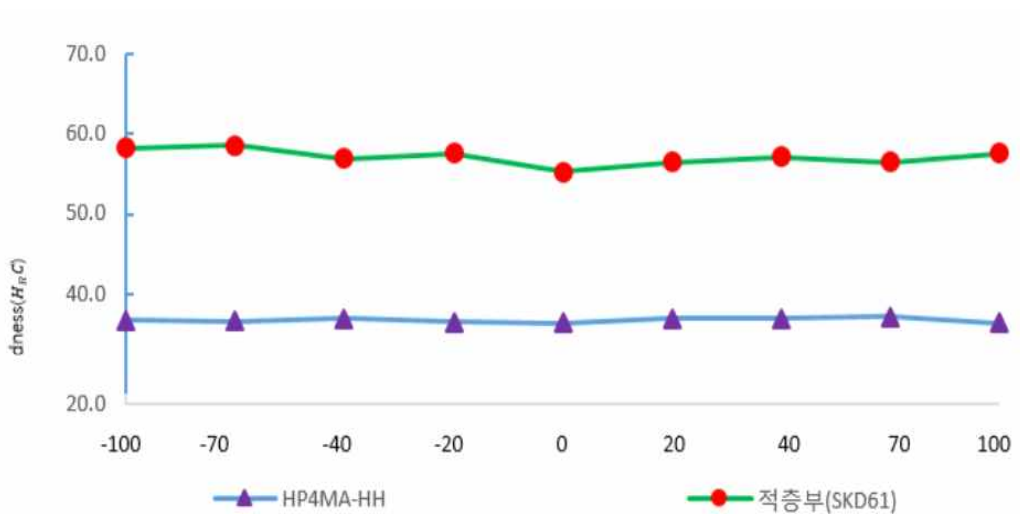


Fig 2.5 Hardness profiles of original HP4MA_HH and deposition layer on HP4MA_HH obtained with STD61 metal powder

Table 2.8 Hardness results of HP4MA_HH and deposition layer on HP4MA_HH obtained with STD61 metal powder

강 종	경 도(HRC)									
위치	-100	-70	-40	-20	0	20	40	70	100	평균
HP4MA_HH	36.8	36.7	37.0	36.6	36.5	37.0	37.0	37.2	36.5	36.8
적층부 (STD61)	58.3	58.6	57.0	57.6	55.3	56.5	57.2	56.5	57.6	57.2

측정 결과 적층 부위가 메인 코어 평균 경도 36.8 H_{RC} 보다 155% 증가한 평균 경도 57.2 H_{RC} 의 높은 경도를 나타냈고, 프리하든강 HP4MA_HH에 합금공구강 STD61 금속분말을 사용하여DED 적층하여 나온 결과는 열처리된 합금공구강 STD61의 경도인 50~55 H_{RC} 보다 더 높은 경도를 나타내므로 적층을 통한 경도 및 내구성을 확보할 수 있었다.

Fig 2.6은 순수 베릴륨구리 합금강 HR-750 모재의 경도와 베릴륨구리 합금강 HR-750에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 적층부의 경도분포이다. 이에 대한 경도 측정 결과는 Table 2.9와 같다.

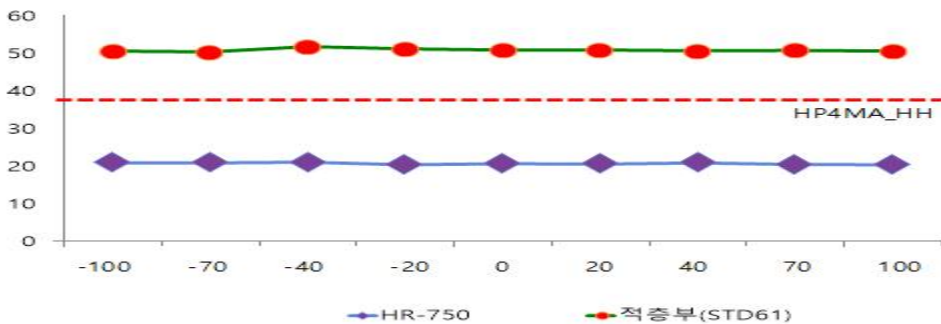


Fig 2.6 Hardness profiles of original HR-750 and deposition layer on HR-750 obtained with STD61 metal powder

Table 2.9 Hardness results of HR-750 and deposition layer on HR-750 obtained with STD61 metal powder

강 종	경 도(HRC)									
	-100	-70	-40	-20	0	20	40	70	100	평균
HR-750	21.0	21.2	21.2	20.5	20.8	20.7	21.0	20.6	20.5	20.8
적층부 (STD61)	50.5	50.3	51.7	51.1	50.8	50.8	50.6	50.7	50.5	50.8

측정 결과 적층 부위가 HR-750 평균 경도 20.8 H_{RC} 보다 244% 증가한 평균 경도 50.8 H_{RC} 의 높은 경도를 나타내듯이 적층을 통한 경도 및 내구성을 확보할 수 있었다.

Table 2.10에 보듯이 기본 소재의 경도 결과와 적층을 하여 측정된 결과를 보면 기본 소재가 프리하든강 HP4MA-HH 일 때는 원래 STD61 열처리된 경도보다 높게 나오고, 베릴륨구리 합금강 HR-750 일 경우에도 합금공구강 STD61 열처리된 경도 범위 안에 있는 것을 확인하였다.

Table 2.10 Hardness measurement result according to material and deposition layer

소재		HP4MA-HH	STD61 (침탄)	HR-750	HP4MA-HH + STD61	HR-750 + STD61
경 도 (HRC)	Spec	35~39	50~55	18~24	(50~55)	(50~55)
	측정값	36.8	-	20.8	57.2	50.8

2) 인장시험

합금공구가 STD61 금속분말로 적층한 소재에 대해 폭 방향, 길이 방향에 대한 인장강도를 고찰하였다. 시험편은 KS 14A 규격을 참고하여 합금공구강 STD61 금속분말을 DED 적층한 시편에 대해 인장강도를 측정하였다.



Fig 2.7 Stand specimen for tensile test(product)

Table 2.11 Tensile strength of base metal and deposition layer

소재		기계적 특성		
		인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
모재	HP4MA-HH	1250	1050	14~20
	HR-750	700	600	6
분말 적층	STD61	1270	1090	12

Table 2.11은 사용 모재 플라스틱 금형강인 프리하든강 HP4MA_HH, 베일룸구리 합금강 HR-750, 합금공구강 STD61의 표준 인장강도이다.

Table 2.12는 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 시편의 길이 방향 및 폭 방향에 대한 인장강도 측정 결과이다.

Table 2.12 Tensile strength of the deposited layer

Materials	인장강도 (MPa)		항복강도 (MPa)		연신율 (%)	
	1996	평균 1927	1075	평균 1066	6	평균 5
DMT STD61 (Length)	1857		1056		4	
	2092	평균 1998	1405	평균 1477	8	평균 6
DMT STD61 (Width)	1904		1549		4	

결과를 고찰해 보면 합금공구강 STD61 금속분말 적층 시편의 인장강도는 약 1927MPa로 원 소재 합금공구강 STD61의 인장강도 1270MPa 대비 650MPa 정도 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 고출력 레이저에 의한 금속분말이 적층되면서 표면에 국부적 열처리 효과가 반영된 결과로 생각되어지고, 또한 적층 부의 폭 방향에 대한 인장강도가 길이 방향보다 약 70MPa 정도 높게 나타나는데, Fig 2.8 처럼 적층 방향이 폭 방향일 때에는 당기는 방향으로 적층이 되는 형상이고, 길이 방향 적층은 당기는 힘의 직각 방향으로 적층이 이루어지기 때문에 길이 방향으로 적층 시 인장강도가 더 높게 나타나고 있다.



(a) Width direction

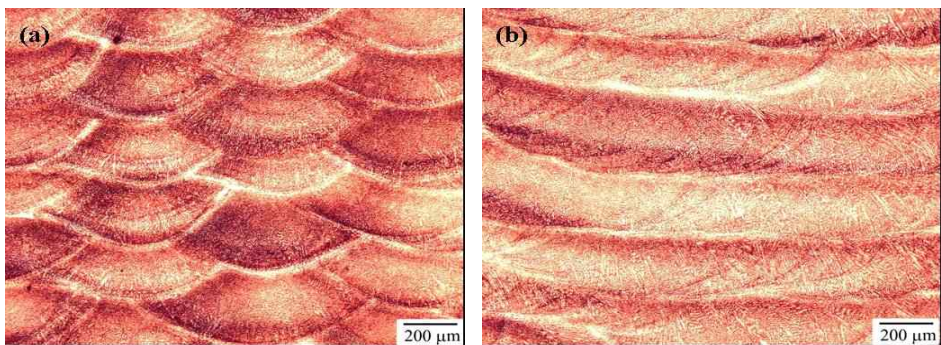


(b) Longitudinal direction

Fig 2.8 Direction of deposition layer

아울러 적층 부의 폭 방향의 인장강도가 길이 방향에 비해 크므로, 이에 대한 원인을 알아보기 위해 현미경으로 적층 부에 대한 미세조직을 살펴보았다.

현미경을 통하여 절단면을 조직 검사 시 시편은 치밀한 조직을 나타내고 있으며, Fig 2.9 보듯이 적층이 생성 방향이 공정 방향에 (a) 수직인 방향과 (b) 평행한 방향에 따라 적층 형상이 상이하게 관찰되었다.



(a) Width direction

(b) Longitudinal direction

Fig 2.9 Optical microscopy of STD61 specimen
of deposition layer

제 3 장 STD61 금속분말의 적층부에 대한 구조해석

3.1 구조해석 방법

3.1.1 해석 모델

사출 성형 공정 시 금형의 코어에 다양한 형태의 외력을 받게 되는데 가장 큰 영향이 사출 압력이다. 이러한 압력이 적용 시 금형 온도에 따라서 코어에 받는 외력은 달라질 수 있으나 이 구조해석에서는 온도에 따른 변화량은 제외하고 순수 압력에 대한 외력만 평가하였다.

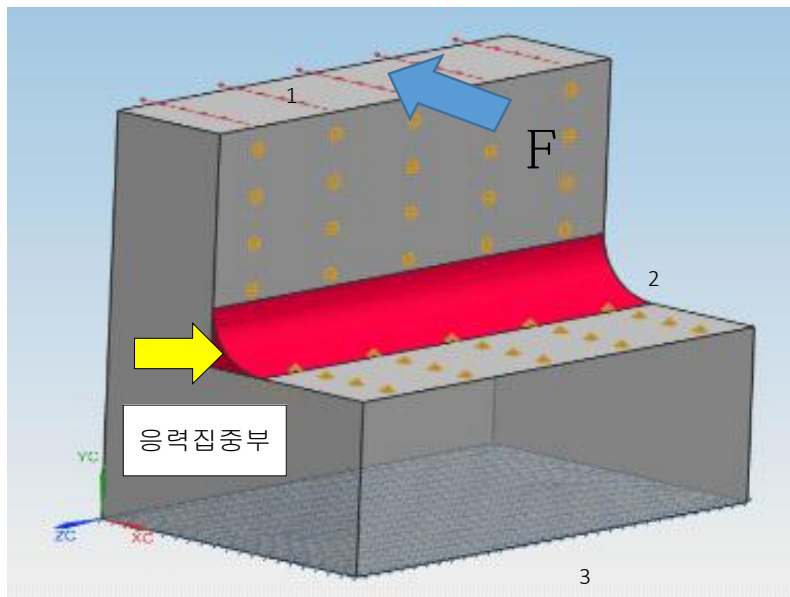


Fig 3.1 Structural analysis model

해석 프로그램은 NX10.0 프로그램을 활용하였으며 해석 모델은 Fig 3.1과 같이 시편 계면이 곡면인 열전도용 플라스틱 금형강인 베릴륨구리 합금강 HR-750에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 적층부에 대해서 수치해석을 진행하였다.

3.1.2 해석 조건

해석 시 적층 조건은 Surface-to-Surface Gluing을 적용하고, 경계조건은 바닥면을 완전 구속시켜 실제 적층부의 구속조건을 반영하였으며, 소재별 기계적 물성값은 앞장 2장의 실험에서 얻은 결과치를 사용하였다.

또한, 하중 조건은 사출 압력이 작용 시 적용되는 사용 하중을 고려하여 시편 코너 부분에 30,000N을 적용하여, 적층부에 발생하는 최대 응력과 변형량을 예측 및 평가를 통하여 적층부에 대한 건전성을 확보하고자 하였다.

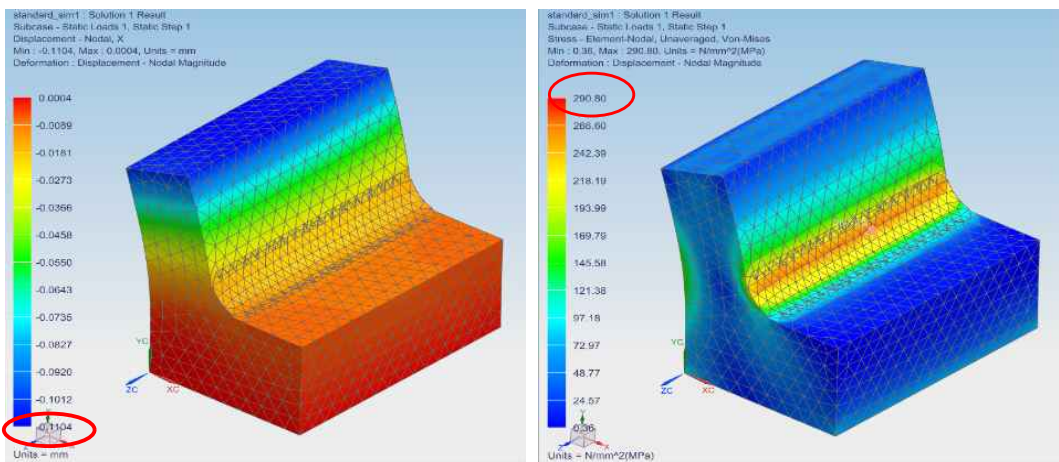
구조해석을 하기 위하여 사용할 소재는 금형에서 가장 보편적으로 사용하는 두산 중공업에서 생산하는 프리하든강 HP4MA-HH 강재와 열 전도성 강재인 베릴륨구리 합금강 HR750을 사용하여 구조해석을 진행하였고, 강도 보완용 적층 소재로 합금공구강 STD61 강재를 사용하였다.

3.2 응력 및 변형 특성

플라스틱 금형강인 프리하든강 HP4MA_HH, 베릴륨구리 합금강 HR-750에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 적층부에 대한 응력 및 변형 특성을 고찰하기 위해, 먼저 플라스틱 금형강인 프리하든강 HP4MA_HH, 베릴륨구리 합금강 HR-750에 대한 소재별 특성을 분석한 후 적층부에 대한 특성과 비교, 평가하였다.

3.2.1 플라스틱 금형강

Fig 3.2는 플라스틱 금형강인 프리하든강 HP4MA_HH에 대한 응력과 변형 분포도이다. 해석 결과를 살펴보면, 최대 변형은 하중을 가한 상단 부분에서 발생하고 변형량은 0.11mm, 최대 응력은 하중 집중부인 코너 R 부위에서 발생하였고 290MPa 응력이 발생하였다. 최대 응력의 경우 중앙부에서 발생하는데 이는 단면 형상이 급격히 변화하는 구조적 특성에 의해서 발생된 것으로 생각되어진다.



(a) Stress

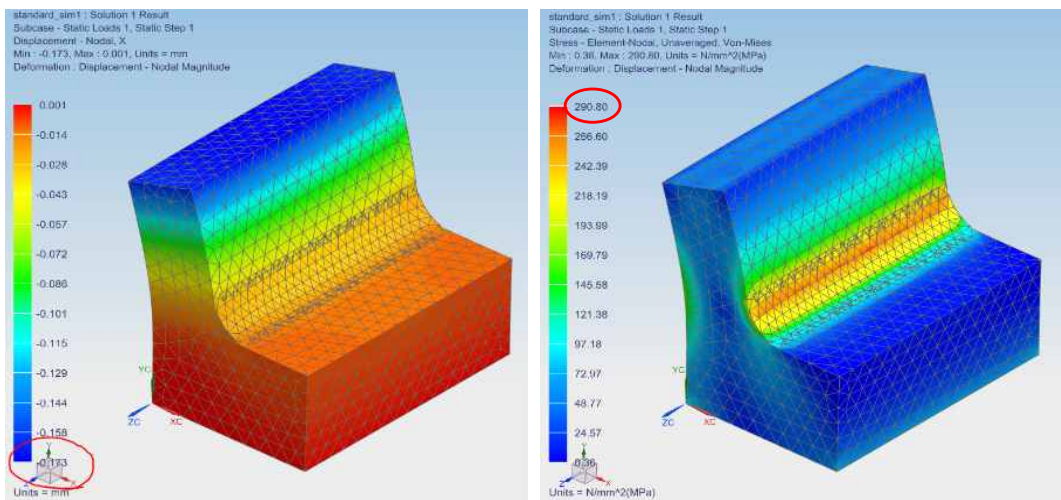
(b) Deformation

Fig 3.2 Distribution of stress and deformation in HP4MA_HH model

특히, 소재의 안전율과 허용응력을 고려하였을 때, 항복강도의 40% 미만을 권장하고 있다. 이러한 관점에서 프리하든강 HP4MA_HH의 항복강도인 1050MPa의 40%인 허용응력은 420MPa 미만의 응력인 허용범위 안의 290MPa이 발생하므로 안전함을 알 수 있었다.

단, 열전도율이 베릴륨구리 합금강에 비해 떨어지므로 Hot Spot 부 냉각 문제 해결에는 미흡하다는 한계가 있다.

Fig 3.3은 플라스틱 금형강인 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재에 대한 응력과 변형 분포도이다. 해석 결과를 살펴보면, 최대 변형은 하중을 가한 상단 부분에서 발생하고 변형량은 0.173mm, 최대 응력은 하중 집중부인 코너 R 부위에서 발생하였고 290MPa 응력이 발생하였다. 최대 응력의 경우 중앙부에서 발생하는데 이는 단면 형상이 급격히 변화하는 구조적 특성에 의해서 발생된 것으로 생각되어진다.



(a) Stress

(b) Deformation

Fig. 3.3 Distribution of stress and deformation in HR-750 model

응력 관점에서 소재별로 항복강도가 달라서 베릴륨구리 합금강 HR-750의 항복강도가 600MPa 수준이라 40%를 적용하면 240MPa로 290MPa 응력이 발생하므로 허용

응력보다 더 높은 상황이 되어 장기신뢰수준이 떨어진다.

따라서 베릴륨구리 합금강 HR-750이 프리하든강 HP4MA_HH에 비해 열전도율이 높아 Hot Spot 부의 냉각 문제 해결에는 이로우나 변형 최대 응력이 허용범위 이상이므로 건전성을 확보하지 못하여 내구성에 문제가 발생할 수 되는 것을 확인할 수 있다.

3.2.2 STD61 금속분말의 적층부

Fig 3.4은 플라스틱 금형강인 베릴륨구리 합금강 HR-750 강재에 하중 집중부를 합금공구강 STD61 금속분말을 적층한 소재에 대한 응력과 변형 분포도이다. 해석 결과를 살펴보면, 최대 변형은 하중을 가한 상단 부분에서 발생하고 변형량은 0.166mm, 최대 응력은 적층의 경계부에 발생하였고 420MPa 응력이 발생하였다.

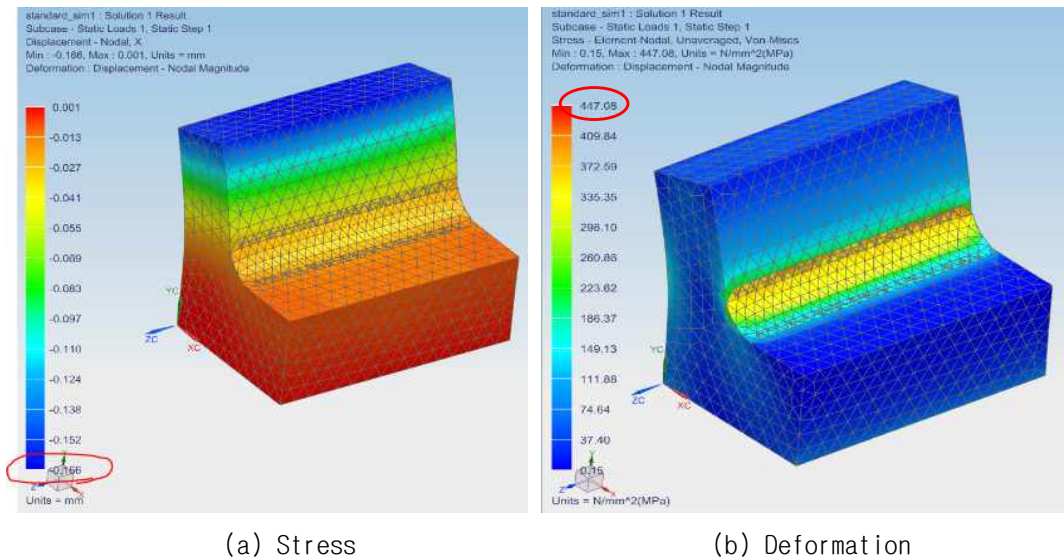


Fig. 3.4 Distribution of stress and deformation in the deposition layer of STD61 on HR-750 model

Fig 3.5는 Fig 3.4의 최대 응력을 보이는 부분을 확대한 그림이다. 해석 결과를 보면 최대 응력의 경우 적층부의 끝 단인 A 부의 적층 경계부에 420MPa이 발생하는데 이는 단면 형상이 급격히 변화하는 구조적 특성과 이종소재의 서로 다른 역학적 차이에 따라 응력이 집중되기 때문이라고 생각되어진다.

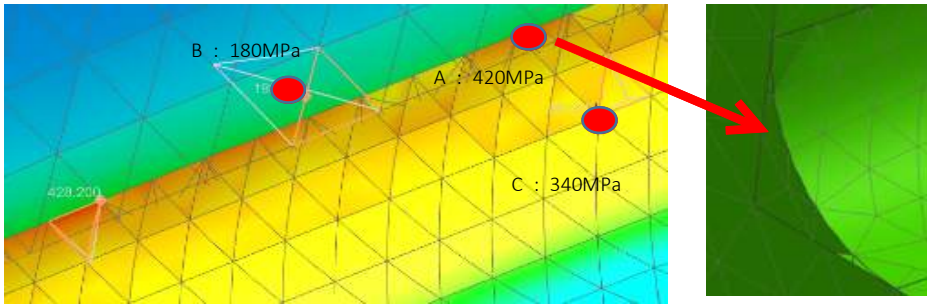


Fig 3.5 Distribution of stress in the deposition layer of STD61 on HR-750 showing maximum stress

B 부는 적층 면과 인접한 베릴륨구리 합금강 HR-750 부분으로 응력은 180MPa 수준이며, C 부는 적층부의 중앙부로 응력 340MPa이 발생하였다. 적층부의 안전율과 허용응력을 고려하였을 때, 합금공구강 STD61의 항복강도의 40%인 430MPa 보다 낮은 420MPa이 발생하므로 안전함을 확인할 수 있었고, 또한 해석 프로그램상 끝단이 너무 얇게 인식되어 응력이 올라가며, 실제와 같이 어느 정도 volume이 있으면 응력이 분산되어 A 부 보다는 C 부가 최대 응력이라도 생각되어진다.

해석 결과적으로 합금공구강 STD61의 항복강도의 40%인 430MPa보다는 A, B, C 부 모두 허용응력 범위 안에 포함되는 압력을 나타내고 있으므로 안전함을 확인할 수 있었다.

다음 Table 3.1은 구조해석 결과를 정리한 것이다.

Table 3.1 Structural analysis results

소재	HP4MA_HH	HR-750	HR-750+STD61 적층부
변형량	최대 0.11mm	최대 0.173mm	최대 0.166mm
최대응력	290 MPa	290 MPa	340 MPa
허용응력	420 MPa	240 MPa	430 MPa
결과	안전함	내구성문제	안전함

따라서 본 연구에서 플라스틱 금형의 Hot Spot 형상 부에 베릴륨구리 합금강 HR-750을 사용하여 냉각 효율 향상 시키는 동시에 응력 집중부위에 합금공구강 STD61 금속분말을 적층시킴으로써 적층부에 대한 내구성을 향상 시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

제 4 장 결 론

본 연구에서는 플라스틱 금형에서 사용하는 강재에 직접에너지증착(DED)을 공정을 이용하여 STD61 금속분말 적층을 통하여 소재의 경도를 강화시키고자 하였으며, 아울러 열전도율이 좋은 베릴륨구리 합금강의 단점을 DED 적층으로 금형의 내구성 향상 및 냉각 효율을 극대화하고자 하였다. 이에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사출 성형 과정에서 발생하는 열에 의한 생산성 저하와 사출 압력에 의한 금형 내구성 저하에 대한 문제점을 개선하기 위하여 표준 시편 시험 및 구조해석을 통하여 DED 적층 후 적층부에 대한 인장강도, 경도, 변형량, 허용응력 등을 비교, 평가 함으로써 내구성 향상 방안에 대해 확인할 수 있었다.
2. 적층 소재의 기계적 경도는 프리하든강 및 베릴륨구리 합금강에 STD61 금속분말을 DED 적층했을 때 평균 경도가 원 소재의 경도보다 증가한 50 H_{RC} 이상의 경도를 확보할 수 있었다.
3. 합금공구강 STD61 금속분말 적층 소재의 인장강도는 합금공구강 STD61 기본 소재의 인장강도 1270MPa보다 높은 1960MPa급 강도를 확보할 수 있었다. 따라서 베릴륨구리 합금강에 응력이 집중되는 부위에 합금공구강 STD61 금속분말로 DED 적층 시 항복강도의 적층부에 대한 내구성 확보 및 금형에서 고경도가 필요한 부분의 경도 향상을 얻을 수 있었다.
4. 구조해석 측면에서 베릴륨구리 합금강의 경우 최대 응력 290MPa이 허용응력 범위인 240MPa을 벗어나 건전성에 문제가 발생된다. 그러나 베릴륨구리 합금강에 합금공구강 STD61 금속분말로 적층 시 최대 응력 420MPa이 합금공구강 STD61 허용응력 범위 430MPa 안에 있어 적층부에 대한 건전성을 확보할 수 있었다.

본 연구에서 플라스틱 금형강에 DED 공법을 통한 합금공구강 STD61 금속분말의 적층을 통하여 적층부에 대한 기계적 성질(경도, 인장강도 등)을 향상 시킬 수 있었다.

향후에는 적층부의 계면에서 발생할 수 있는 박리 현상에 대한 저감방안으로 열팽창률의 중간 소재를 적층하는 이종재질 적층 기술에 관하여 추가 연구를 통하여 적층부의 신뢰성 확보에 대한 연구를 실시할 계획이다.

참고문헌

- [1] 김종덕 외 4, RT 기술을 이용한 사출금형의 3차원 냉각 채널 구현.
(2006) 춘계학술대회 논문요약집, 199page~200page(총 2page)
- [2] 금속 적층제조기술의 국내외 개발동향과 기술적 이슈.
(2016) vol.34 no.4 통권10호 pp.9-16
- [3] Melt Pool Monitoring and Characterization in Directed Energy Deposition Process, 한국정밀공학회 2019년도 추계학술대회 논문집 (2019.10) 272 - 272
- [4] 메탈 3D 프린터의 최신 동향과 기술 전망,
<http://magazine.hellot.net/magz/>
- [5] 삼성전자(주) 금형공통 Mold 금형규격 금형 원소재기준 6 - 6 (1 Page)
- [6] Insstek Brochure (2019). 1 - 1 (1Page)
- [7] 강민철, 적층 기술 동향과 우리나라 현황, 월간 MM. (2020)
- [8] 프레스금형 수명 향상을 위한 DED 3D 프린팅 공정용 적층경로 생성
한국정밀 공학회 학술논문발표대회 논문집 272 - 272 (1Page)
- [9] 이훈희 외4 하이브리드 금속 3D 프린터의 적층 가공물 효율적 절삭을 위한
기상측정 기술, 기계로봇연구정보센터, (2019)
- [10] 이창우, 금속 3D 프린터 산업화 방향. (2016)
- [11] 조원진 외, 3D 프린팅 기술의 개요 및 소재 연구 동향 제조공정 최적화. (2014)
- [12] Christoph Meiera, Ryan W. Pennya, Yu Zoua, Jonathan S. Gibbsa, A. John Harta,
Thermophysical Phenomena in Metal Additive Manufacturing by Selective
Laser Melting: Fundamentals, Modeling, Simulation and Experimentation. (2017)
- [13] 장정환1 · 문영훈2 . 금속분말을 이용한 레이저 3차원 성형기술 . 부산대학교
- [14] 김종덕*, 홍석관, 이경환, 김미애(한국생산기술연구원), 이대근(한국단자공업(주))
RT 기술을 이용한 사출금형의 3차원 냉각 채널 구현 (2006)