|  |  |
| --- | --- |
| **SPSPSPSP****SPSPSPS****SPSPSP****SPSPS****SPSP****SPS**  | SPS B 3DFIA 25-0000  |
|  |  **적층제조 — 레이저 빔 에너지 제어 용착 공정을 적용한 보수 부품 평가 방법**SPS B 3DFIA 25-0000:2025  |
| **3D융합산업협회****2025년 00월 00일 제정** |

**심 의 : 3D융합산업협회 단체표준심사위원회**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 성명 |  | 근 무 처 | 직위 |  |
| (위원장) |  | 이준규 |  | 한국건설생활환경시험연구원 | 본부장 |  |
| (위 원) |  | 이용우 |  | TPC메카트로닉스 | 상무 |  |
|  |  | 신상묵 |  | 프로토텍 | 사장 |  |
|  |  | 최근식 |  | 링크솔루션 | 대표 |  |
|  |  | 박상준 |  | 메디컬아이피 | 대표 |  |
|  |  | 정구상 |  | 컨셉션 | 대표 |  |
|  |  | 진선철 |  | 삼양사 | 차장 |  |
|  |  | 김영철 |  | 경북대학교 | 교수 |  |
|  |  | 김삼연 |  | 전주대학교 | 교수 |  |
| (간 사) |  | 강승철 |  | 3D융합산업협회 | 사무국장 |  |

**원안작성협력 : 3D융합산업협회ㆍ한국건설생활환경시험연구원**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 성명 |  | 근 무 처 | 직위 |  |
| 연구책임자 |  | 손용 |  | 한국생산기술연구원 | 센터장 |  |
| 참여연구원 |  | 어두림 |  | 한국생산기술연구원 | 선임연구원 |  |
|  |  | 김영원 |  | 한국생산기술연구원 | 선임연구원 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

표준열람 : e나라표준인증(http://www.standard.go.kr)

━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━

제 정 자：3D융합산업협회 등 록：한국표준협회

제 정：2025년 00월 00일 개 정：-

심 의：3D융합산업협회 단체표준심사위원회

원안작성협력：3D융합산업협회 3D프린팅 전문가위원회

━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━

이 표준에 대한 문의사항이 있을 시 e나라표준인증 웹사이트에 등록된 표준담당자에게 연락 바랍니다.

이 표준은 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진운용 요령 제11조의 규정에 따라 매3년마다 확인, 개정 또는 폐지됩니다.

목 차

[머 리 말 ii](#_Toc205381697)

[개 요 iii](#_Toc205381698)

[1 적용범위 1](#_Toc205381699)

[2 인용표준 1](#_Toc205381700)

[3 용어와 정의 2](#_Toc205381701)

[4 보수 공정 적용 부품 등급화 및 분류 2](#_Toc205381704)

[4.1 보수 적용 부품 등급화 2](#_Toc205381705)

[4.2 형상적 분류 3](#_Toc205381706)

[4.3 영역별 분류 3](#_Toc205381707)

[5 시험평가 항목 및 평가 방법 4](#_Toc205381708)

[5.1 시험평가 항목 4](#_Toc205381709)

[5.2 금속 분말 특성평가 4](#_Toc205381710)

[5.3 외관 검사 4](#_Toc205381711)

[5.4 기계적 성질 5](#_Toc205381712)

[5.5 결함평가 5](#_Toc205381713)

[6 시험평가 시편 제작 방법 6](#_Toc205381714)

[6.1 시편 제작 방법 6](#_Toc205381715)

[6.2 기계적 성질 평가 시편 6](#_Toc205381716)

[7 부품 등급별 평가 항목 적용 차등화 7](#_Toc205381717)

[7.1 비파괴 검사 적용 부품 선별 8](#_Toc205381718)

[7.2 공동 제작 시편 9](#_Toc205381719)

[8 공정 및 이력 관리 9](#_Toc205381720)

[8.1 공정절차검증서 9](#_Toc205381721)

[8.2 중단점 및 공정 이력 기록 10](#_Toc205381722)

[부속서 A (참고) 보수부 결함 허용 기준 11](#_Toc205381723)

[참고문헌 12](#_Toc205381724)

[SPS B 3DFIA 25-0000:2025 해 설 13](#_Toc205381725)

머 리 말

이 표준은 산업표준화법 시행규칙 제19조와 단체표준 지원 및 촉진 운영 요령에 따라 (사)3D융합산업협회 단체표준 심사위원회를 거쳐 제정한 단체표준이다.

이 표준의 내용 일부 또는 전부는 저작권법에 따른 보호대상이 되는 저작물이 될 수 있다.

이 표준의 일부가 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 저촉될 가능성이 있다는 것에 주의를 환기한다. (사)3D융합산업협회의 장과 단체표준심사위원회는 이러한 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 관계되는 확인에 대하여 책임을 지지 않는다.

개 요

적층제조는 3차원 기하학적 표현을 근거하여 재료를 연속으로 적층하여 제품을 제작하는 기술이다. 적층제조는 다품종 소량, 맞춤형 제조가 가능하고, 뛰어난 복잡형상 구현성과 상대적으로 짧은 제조시간 등의 장점을 갖고 있다.

이들 장점을 바탕으로 적층제조 기술은 군수 및 민수 분야에서는 노후, 단종 부품의 대체 조달을 목적으로 적층제조 기술 도입이 추진되고 있다.

이 표준은 레이저 기반 에너지 제어 용착(Laser Beam Directed Energy Deposition, DED-LB) 방식 적층제조 기술을 이용하여 수리(보수)한 금속 부품의 품질을 평가하기 위한 절차와 방법을 규정하기 위해 개발되었으며, 단종되었거나 즉시 조달이 어려운 부품을 수리하여 사용하고자 할 때 적용할 수 있다.

이 표준에서 규정한 품질평가 절차와 방법은 국방 부품의 보수 사례를 주로 활용하여 개발하여 국방 분야에서 적용하기에 적합하며, 민수분야에서 DED-LB 방식을 이용하여 부품을 수리하는 경우에도 적합할 수 있다.

**단체표준**

**SPS B 3DFIA 25-0000:2025**

|  |
| --- |
| **적층제조 — 레이저 빔 에너지 제어 용착 공정을 적용한 보수 부품 평가 방법** |

|  |
| --- |
| Additive manufacturing — Qualification Method for repaired parts using laser beam direct energy deposition |

# 적용범위

이 표준은 적층제조 공정 중 금속 분말을 소재로 하는 에너지 제어 용착 공정을 사용하여 보수한 부품의 품질을 평가하는 방법에 대하여 규정한다. 이 표준에서는 보수 공정 절차에 관한 내용을 다루지 않으며 작업자 및 작업환경에 대해서도 다루지 않는다.

# 인용표준

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS D ISOASTM 52900, 적층제조 — 일반원칙 — 기초 및 용어

KS D ISOASTM 52907, 적층제조 — 공급재료 — 금속 분말의 특성 규명법

KS B ISO 286-1, 제품의 형상 명세(GPS) — 선 치수의 공차에 대한 ISO 코드 시스템

KS B ISO 4288, 제품의 형상 명세(GPS) — 표면의 결(조직): 프로파일법 — 표면 결의 평가 규칙 및 절차

KS D ISO 2738, 초경 합금을 제외한 소결 금속 재료 - 침투성 소결 금속 재료 - 밀도, 오일 함유율 및 개기공율 측정 방법

KS D ISO 17475, 금속 및 합금의 부식－전기화학적 시험방법－정전위 및 동전위 분극 측정 지침

KS D 9502, 염수 분무 시험 방법(중성, 아세트산 및 캐스 분무 시험)

KS B ISO 5173, 금속 재료 용접부의 파괴 시험 — 굽힘 시험

ISO/ASTM 52920, Additive manufacturing — Qualification principles — Requirements for industrial additive manufacturing processes and production sites

ISO/ASTM 52927, Additive manufacturing — General principles — Main characteristics and corresponding test methods

ISO/TR 15608, Welding — Guidelines for a metallic materials grouping system

ASTM E562, Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count

ASTM E3 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens

ASTM E407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys

ASTM E3166, Standard Guide for Nondestructive Examination of Metal Additively Manufactured Aerospace Parts After Build

ASTM E8/E8M, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

ASTM E92, Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials

ASTM E1417/E1417M, Standard Practice for Liquid Penetrant Testing

ASTM E1444, Standard Practice for Magnetic Particle Testing

ASTM E1742/E1742M, Standard Practice for Radiographic Examination

ASTM E1570, Standard Practice for Computed Tomographic (CT) Examination

ASTM A263-12, Standard Specification for Stainless Chromium Steel-Clad Plate

AWS D20.1/D20.1M, Specification for fabrication of metal components using additive manufacturing

# 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 KS D ISOASTM 52900의 용어와 정의 및 다음을 적용한다.

**참고 1** 이 표준과 관련된 ISO 및 IEC의 용어 데이터베이스는 다음과 같다.

— ISO 온라인 브라우징(browsing) 플랫폼: https://www.iso.org/obp

— IEC 일렉트로피디아(Electropedia): http://www.electropedia.org

**참고 2** KS 용어는 다음을 적용할 수 있다.

— e나라표준인증 포털: https://www.standard.go.kr/KSCI/dictionary

**참고 3** 하나의 용어란에 두 개 이상의 용어가 병기되어 있는 경우에는 기재되어 있는 순서에 따라 우선적으로 사용한다{예: 출력/산출물(output)}.

보수부품 (Repaired part)

운용중 부품의 일부가 파손 및 마모되어 에너지 제어 용착공정을 통해 일부 영역만을 보수하여 재생한 부품

적층제조 절차서(AMPS, Additive Manufacturing Procedure Specification)

적층제조 공정을 사용하여 부품을 제작하기 위한 요구사항을 제공하기 위해 모든 공정 변수를 명시한 문서.

공정절차검증서(PQR, Procedure Qualification Record)
적합한 검증 시험편을 제작하는 데 사용된 변수와 적층제조 절차서의 적격성을 뒷받침하기 위해 수행된 시험 결과를 기록한 문서.

검증 시험편 (Qualification test specimen)

## 공정절차검증서에 설정된 공정 변수 조건에서 제작된 검증용 적층물. 품질평가시 요구되는 개별 시험편을 해당 검증 시험편에서 채취함.

## 공동제작 시편(Co-built Specimen)

부품 보수 공정과 함께 제작하는 모형의 시험편으로 보수 공정의 공정 안정성을 확인하기 위하여 참조하기 위해 제작하는 시편

# 보수 공정 적용 부품 등급화 및 분류

## 보수 적용 부품 등급화

에너지 제어 용착 공정을 통해 보수하는 부품의 등급은 표 1과 같이 분류한다. A부터 C등급까지는 하중이 가해지는 구조부품으로 AWS D20.1/D20.1M의 1.4의 부품 분류체계와 동일하다. 이에 해당하지 않는 비구조부품은 D등급을 적용한다. 부품의 등급은 사용처 및 부하환경에 따라 구매자와 공급자간 협의 하에 지정한다. 부품 등급에 따라 품질평가의 적용기준 및 항목이 달라질 수 있다.

표 1 — 보수 적용 부품 등급 분류 기준

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **등급** | **분류 기준** | **의미** |
| A | Critical part (핵심부품) | 해당 부품의 품질하자가 즉각적인 시스템의 상실 및 구동 중단, 제어상실 등에 직접적인 영향을 줄 수 있으며 인명피해 등 중대한 피해가 발생할 수 있는 부품 |
| B | Semi-Critical part (준핵심부품) | 해당 부품의 품질하자가 즉각적이고 중대한 피해나 인명피해를 발생시키지는 않으나 시스템 기능의 저하 및 내구성 저하를 야기할 수 있는 부품 |
| C | Non-Critical part (비핵심부품) | 해당 부품의 품질하자가 시스템 정상작동에 미치는 영향이 미비하며 이로 인한 인명피해 등이 전혀 발생하지 않는 부품 |
| D | Non-Structural part (비구조부품) | 비핵심부품이면서 해당 부품의 강도 및 하중 지지의 역할이 낮은 경미한 부하가 예상되는 부품 |

## 형상적 분류

에너지 제어 용착 공정을 통해 보수하는 부품은 보수재생 적층부 혹은 적층면 형상에 따라 그림 1과 같이 분류할 수 있다. 그림 1은 적층 이후 단면의 모습을 나타낸 것이다.

1. 오버레이형
보수하고자 하는 면이 보수 후 재건되는 표면과 수평한 면으로만 구성되어 있는 경우로 적층할 면과 적층헤드가 이루는 각도가 일정하게 유지되고 모서리가 발생하지 않는 경우에 해당한다.
2. 함입형
보수하고자 하는 면이 보수 후 재건되는 표면과 수평한 면으로만 구성되지 않고 표면으로부터 보수 시작면의 깊이가 위치별로 변하여 모서리 및 적층 높이 편차가 발생하거나 적층할 면과 적층헤드가 이루는 각도가 일정하게 유지되기 어려운 경우에 해당한다.



그림 1 — 보수 부품의 적층면 단면 형상 분류(또는 형상 차이에 따른 분류)

하나의 부품에 두가지 형상 분류가 서로 떨어진 위치에 동시에 존재하는 경우 각 부위를 구분하여 5.3의 물성평가와 5.4의 결함평가가 이루어져야 한다.

## 영역별 분류

에너지 제어 용착 공정으로 보수한 부품은 크게 모재부와 보수부로 구분한다. 모재부는 모재와 열영향부로, 보수부는 희석층과 적층부로 세분하여 구분한다. 계면은 모재부의 열영향부와 보수부의 희석층의 계면을 의미하며 계면부는 모재부의 열영향부와 보수부의 희석층을 포함하는 계면 인근 영역을 의미한다.

에너지 제어 용착 공정으로 보수한 부품은 영역별로 조성 및 미세조직이 다르므로 서로 구분된 품질평가가 이루어져야 하며 시험편을 얻을 때는 영역을 정확히 구분하여 이루어져야 한다. 그림 2는 에너지 제어 용착 공정으로 보수한 부품의 영역 분류를 나타낸다.

1. 적층부
보수재생에 활용하고자 하는 금속 분말 조성과 동일한 조성을 가지는 영역으로 최종 표면에 노출되는 영역
2. 희석층
에너지 제어 용착 공정 특성상 처음 적층되는 층과 이후의 한 두개 층은 사용된 금속 분말과 모재의 혼합조성을 가질 수 있다
3. 열영향부
조성은 모재의 조성과 같지만 미세조직은 에너지 제어 용착 공정으로 인해 열영향을 받은 부위로 물성 및 미세조직 측면에서 하단의 모재부와 차이가 발생한 영역
4. 모재
보수하고자 하는 기존부품 영역으로 열영향에 의해 미세조직과 물성에 영향을 받지 않은 영역



그림 2 — 보수 공정의 영역 분류

# 시험 항목 및 평가 방법

## 시험 항목의 분류

에너지 제어 용착 공정 및 보수된 부품의 건전성을 확인하기 위하여 아래와 같은 시험평가 항목에 대해 시험을 수행하고 그 결과를 제공해야 한다.

* 외관검사
* 기계적 성질
* 결함 평가

## 외관 검사

### 육안 검사

적층 직후 그리고 기계가공 등의 후처리 된 시험편과 보수 부품의 품질을 육안으로 검사할 수 있어야 한다. 표면에서의 밝기는 500 lx를 권장하며, 최소 350 lx 이상이어야 한다.

직접 검사에서는 육안이 표면에서 600 mm 이내 그리고 30도 보다 큰 각도로 접근할 수 있어야 한다. 근접검사가 불가능한 경우 거울, 내시경, 파이버 광학 케이블 혹은 카메라를 이용한 원격 검사가 고려되어야 한다. 검사자의 자격 조건에 대해서는 구매자와 공급자간 상호협의를 통해 정할 수 있다.

### 치수 및 표면조도

적층 직후 그리고 기계가공 등의 후처리 된 시험편과 보수 부품의 치수 정밀도 및 표면조도를 요구도에 맞게 가공할 수 있다. 부품 요구 사항에 따라 최종 부품의 치수 및 보수면의 표면조도를 측정하여 제공할 수 있다. 부품의 치수 측정은 KS B ISO 286-1를 참조하고, 표면조도 측정은 KS B ISO 4288를 참조한다.

## 기계적 성질

### 적층부 물성평가

에너지 제어 용착 공정으로 보수한 부품의 적층부 물성 평가는 다음과 같은 필수 항목을 포함하여야 한다. 일부 선택항목의 경우는 부품의 작동 환경에 맞게 구매자와 공급자간 상호협의를 통해 포함 여부를 정할 수 있다.

* 밀도(KS D ISO 2738 비중시험 또는 ASTM E562 이미지 분석법을 통한 상대밀도)
* 항복강도, 인장강도, 연신율(ASTM E8/E8M)
* 경도(선택항목, ASTM E92)
* 내부식성(선택항목, KS D ISO 17475 동전위 분극 시험 또는 KS D 9502 염수분무법)
* 기타 ISO/ASTM 52927 표 A.5에 기재되어 있는 기계적 물성 요구사항 (선택항목)

### 접합강도

에너지 제어 용착 공정으로 보수한 보수부와 모재부와의 접합강도는 다음 항목 중 최소 하나 이상의 항목에 대해 평가를 수행해야 한다. 평가 항목 중 어떤 항목을 적용할지는 부품의 부하환경에 따라 구매자와 공급자간 협의를 통해 정할 수 있다. 접합강도 평가를 위한 시험편 제작은 6.1을 따른다.

* 인장시험(ASTM E8/E8M 준용)
* 전단시험(ASTM A263-12 준용)
* 측면굽힘시험(KS B ISO 5173 5.6.5 준용)

## 결함평가

### 단면관찰

에너지 제어 용착공정으로 보수한 부품의 경우 적층부 및 희석층 및 열영향부에서 기공, 균열, 개재물(비금속 혹은 금속) 등의 결함이 나타날 수 있다. 따라서 단면관찰 시험편 중 최소 하나는 희석층 및 열영향부를 포함하여야 하며, 다른 하나는 적층부의 상단 및 기계가공후에 제거되지 않는 위치에서 획득한 시험편으로 구성해야 한다.

시편의 절단면을 거울면까지 연마한 후 광학현미경 50~150배율을 통해 ASTM E562을 따라 결함의 존재 유무와 결함의 발생 위치 및 크기 등에 대한 분석을 진행하여야 한다.

그림 2와 같이 영역 구분이 이루어져야 한다. ASTM E3 및 ASTM E407을 참고하여 시험편을 에칭하여 영역 구분을 진행할 수 있다. 단, 과도한 에칭으로 균열 등 결함이 가려지지 않아야 한다.

시편 혹은 부품에서 단면관찰 시편이 얻어진 위치를 도면이나 도식에 표시해야 한다. 하나의 위치당 무작위로 3개의 이미지를 획득하여 측정한다. 결함 분류 및 용어는 ASTM E3166의 4.8을 따른다.

### 비파괴 검사

보수부 및 열영향부의 결함을 평가하기 위하여 하기의 비파괴 검사 항목을 활용하여야 한다. (부품 등급별로 차등 적용). 비파괴 검사를 용이하기 위해 노출된 표면에 기계가공 등 후처리를 한 이후에 검사를 시행하는 것이 바람직하다.

* 침투검사(ASTM E1417/E1417M)
* 자분탐상검사(ASTM E1444)
* 방사선투과검사(ASTM E1742/E1742M. ASTM E1570을 통한 CT 검사도 허용)

# 시험평가 시편 제작 방법

## 검증 시험편 제작 방법

검증 시험편 및 개별 시험편은 적절한 기계가공 등의 후처리를 한 후 진행할 수 있다.

비파괴 검사 및 육안검사는 실 보수 부품에 적용하며 그 이외의 시험평가 항목에 대응하는 시편을 채취할 검증시험편은 그림 3과 같이 제작한다. 모재 적층면 기준 수직 벽 형상(V)과 수평 벽 형상(H)을 제작하여 평가하며 C등급 이하의 경우 이중 하나만 선택하여 적층 후 평가할 수 있다.



그림 3 — 검증 시험편 형상

검증시험편에서 모재부로 사용하는 소재는 보수 적용 부품과 동일한 합금으로 준비하여야 한다. 단, 단종 등의 이유로 해당 소재로 보수가 불가능한 경우 ISO/TR 15608의 합금 분류체계 중 같은 하위 그룹(sub group)에 속하는 합금을 모재로 사용할 수 있다.

## 기계적 성질 평가 시편

밀도 시험의 경우 표면 거칠기에 결과값이 영향을 받으므로 표면 연마 후 시험을 수행한다.

적층부 물성평가 인장시험편은 A 등급의 경우 VV, VH, HH에서 각각 3개씩, B 등급은 HH, VV에서 각각 2개씩, C등급은 3개의 방위중 보수 영역에 더 유사한 방향으로 선택하여 제작할 수 있다.

층간 회전각도 (interlayer rotation)을 적용하는 것이 유리하나 특별한 이유로 층간 회전각도가 0인 경우에는 HH 시편을 획득할 방향 즉, 스캔 방향과 이루는 각도를 협의 하에 설정하여야 한다.

적층부 물성평가 시험은 적층부 (그림 2 참고)에서 획득한 시험편임을 확인할 수 있어야 한다.

B등급 부품 중 보수 형상이 오버레이형인 경우 V 형상의 벽을 적층하기 어려운 경우, 구매자와 공급자간 협의 하에 H 형상의 벽만 제작하여 평가할 수 있다.

C등급 부품 중 보수 형상이 오버레이형인 경우 구매자와 공급자간 협의 하에 경도시험으로 인장시험을 대체할 수 있다. 경도시험은 5 kgf 이상의 하중으로 인장시험 방향에 평행하게 압자가 눌리도록 시험편을 제작하여 수행한다. 변형이 가지 않은 인장시험편의 그립부나 단면관찰 시편 등을 활용할 수 있다.

접합강도 시험편은 인장시험의 경우 보수부와 모재부의 계면이 표점 거리(gauge)부 내에 위치하여야 하며 인장방향과 계면의 법선이 45도 이내의 각도를 이루어야 한다. 측면 굽힘시험 편 및 전단시험편은 각각 KS B ISO 5173의 5.6.5항 및 ASTM A263-12의 7.2.1항에 따라 제작한다.

### 결함 평가 시편

B등급 이상의 시험편의 경우 단순 벽 형상의 시험편 이외에 보수 적용 부품의 형상과 크기가 유사하며 보수 영역이 동일한 기하학적 형상을 지닌 모형 부품에 보수공정을 수행하고 이의 계면을 관찰하여야 한다. 모재의 표면 가공 상태와 열처리 조건 또한 동등해야 한다. 단면 관찰 시험편은 오버레이형의 경우는 1개, 함입형의 경우는 바닥부 계면에서 1개, 측면 계면에서 1개의 시험편을 취하여 관찰한다.

# 부품 등급별 평가 항목 적용 차등화

부품의 등급별로 5장 시험평가 항목의 적용이 달라져야 한다. 각 등급별로 필수 및 권장 시험평가 항목은 표 2를 참조한다. 세부적인 시편의 개수 및 시편 취득 위치에 대해서는 표 3을 참조한다.

표 2 — 보수 적용 부품 등급별 시험평가 항목

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A등급 | B등급 | C등급 | D등급 |
| 육안검사 | O | O | O | O |
| 치수 및 표면조도 | O | O | O | O |
| 단면관찰 | O | O | O | O |
| 단면관찰 (모형 부품) | O | O | – | - |
| 적층부 물성평가 | 밀도 | O | O | O | - |
| 인장시험 | O | O | O | - |
| 경도시험 | O | O | △ | - |
| 기타 | O | △ | – | - |
| 접합강도 | 인장시험 | O | O | – | - |
| 측면 굽힘시험 혹은 전단시험 | O | △ | – | - |
| 비파괴 검사 | O | O | – | - |
| (O : 필수, △ : 권장, – : 해당 없음) |

표 3 — 시험평가 항목별 시편 개수 및 조건(숫자는 개수를 의미함)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A등급** | **B등급** | **C등급** | **D등급** | **기타** |
| 단면관찰 | 3 | 2  | 2 | 2 | (최소 한 곳은 희석층 및 열영향부 포함) |
| 단면관찰 (모형 부품) | 1 (오버레이형)2 (함입형) | 1 (오버레이형)2 (함입형) | – | - |  |
| 적층부 물성평가 | 밀도 | 5 | 3 | 3 | - | 표면연마 권장 |
| 인장시험 | 3+3+3(VV, VH, HH) | 3+3(VV, HH) | 3 | - |  |
| 경도시험 | 5+5+5(VV, VH, HH) | 5+5 (VV, HH) | – | - | 인장시험 방향과 수평하게 시험 |
| 접합강도 및 계면 건정성 | 인장시험 | 5 | 3 | – | - | 인장방향과 계면의 법선이 45도 이내 |
| 측면 굽힘시험 혹은 전단시험 | 2 | – | – | - |  |
| 비파괴 검사 | 항상 | 표 4 참조 | – | - |  |

## 비파괴 검사 적용 부품 선별

비파괴 검사는 최종 보수 부품에 적용하며 A등급 부품은 매 부품에 항상 적용하여야 한다. B등급 부품의 경우 표 4와 같이 생산량에 따라 샘플링하여 측정할 수 있다.

보수부 결함 허용 기준에 미치지 못하는 경우 이후 생산된 부품은 반드시 비파괴 검사를 수행해야 한다. 보수부 결함 허용 기준은 AWS D20.1/D20.1M을 참고하여 설정할 수 있으며 이에 대한 예시는 부속서 A를 참고한다.

보수부 형상 유형이 같으며 모재 합금이 ISO/TR 15608의 합금 분류체계 중 하위 그룹안에서 같은 경우 생산량 집계에 포함시킬 수 있다.

표 4 — B등급 부품 생산량에 따른 비파괴 검사 적용 부품 수

|  |  |
| --- | --- |
| **생산량 (매월)** | **비파괴 검사 적용 부품 수** |
| 5개 미만 | 모든 부품 |
| 5~15개 | 최소 5개 |
| 16~20개 | 최소 10개 |
| 21개 이상 | 최소 15개 |

## 공동 제작 시편

구매자와 공급자간 협의 하에 부품의 크기가 방사선 투과시험이 가능한 크기 이상이거나 기타 다른 이유로 비파괴 검사 적용이 불가능한 경우, 실제 보수부품의 보수 공정이 이루어지는 동시에 공동 제작 시편을 보수하고, 공정이 마친 후 공동 제작 시험편의 비파괴 검사로 실제 부품의 보수 공정 건정성을 검증할 수 있다.

공동 제작 시편은 보수 적용 부품의 형상과 크기가 유사하며 보수 영역이 동일한 기하학적 형상을 지닌 모형 부품이어야 하며 실제 보수 적용 부품과 동일한 합금 하위 그룹에 속해야 한다. 모재의 표면 가공 상태와 열처리 조건 또한 동등해야 한다. 이 경우 6.3과 마찬가지로 A등급 부품은 매 공동 제작 부품에 항상 적용하여야 하며 B등급 부품의 경우 표 4와 같이 생산량에 따라 공동 제작 부품을 샘플링하여 측정할 수 있다.

# 공정 및 이력 관리

본 표준의 품질평가를 위한 시험편은 공정절차검증서(Procedure Qualification Record, PQR)에 기록된 변수 조건 하에서 제작되어야 하며, 공정절차검증서는 공정 검증 기록으로 보관되어야 한다. 또한 본 표준에 따른 보수부품 품질평가는, 해당 공정이 공정절차검증서를 기반으로 작성된 적층제조절차서 (Additive Manufacturing Procedure Specification, AMPS)에 따라 수행된 경우에 한해 유효하다. 공정절차검증서 및 적층제조절차서의 구체적 작성·운용 방법은 별도의 공정 표준을 따른다.

에너지 제어 용착 공정 중 공정이 일시 중단되거나 가스, 분말 등의 교체 및 충전이 이루어지는 경우, 해당 내용이 발생한 시점과 내용, 해당 레이어 번호 및 공정 좌표점을 기록하고 보관하여야 한다.

1. (참고)

보수부 결함 허용 기준

에너지 제어 용착 공정으로 허용가능한 보수부의 균열, 기공 및 개재물의 크기는 AWS D20.1/D20.1M을 참고하여 에너지 제어 용착 공정에 맞도록 수정한 표 A.1에 나타난 기준을 적용할 수 있다. 또한 열영향부 및 보수부 주위의 모재부에는 균열이 발생해서는 안된다.

표 A.1 — 보수부 결함 허용 기준(T는 단면의 최소 두께 길이 mm)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 등급 | A | B | C |
| 균열 | 없음 | 없음 | 없음 |
| 표면부 기공 |
| 기공 최대 치수 | 0.25T 또는 0.76 mm 중 작은 쪽 | 0.33T 또는 1.50 mm 중 작은 쪽 | 0.5T 또는 2.30 mm 중 작은 쪽 |
| 기공 최소 간격 | 가장 큰 기공의 8배 | 가장 큰 기공의 4배 | 가장 큰 기공의 2배 |
| 누적 길이 (임의 직선 75 mm 내) | 1T 또는 3.0 mm 중 작은 쪽  | 1.33T 또는 6.00 mm 중 작은 쪽  | 2T 또는 9.00 mm 중 작은 쪽  |
| 내부 기공 |
| 기공 최대 치수 | 0.33T 또는 1.50 mm 중 작은 쪽 | 0.5T 또는 2.30 mm 중 작은 쪽 | 해당 없음 |
| 기공 최소 간격 | 가장 큰 기공의 4배 | 가장 큰 기공의 2배 | 해당 없음 |
| 누적 길이 (임의 직선 75 mm 내) | 1.33T 또는 6.00 mm 중 작은 쪽 | 2T 또는 9.00 mm 중 작은 쪽  | 해당 없음 |
| 개재물 |
| 최대 치수 | 0.33T 또는 1.50 mm 중 작은 쪽 | 0.5T 또는 2.30 mm 중 작은 쪽 | 해당 없음 |
| 최소 간격 | 가장 큰 개재물의 4배 | 가장 큰 개재물의 2배 | 해당 없음 |
| 누적 길이 (임의 직선 75 mm 내) | 1.33T 또는 6.00 mm 중 작은 쪽 | 2T 또는 9.00 mm 중 작은 쪽 | 해당 없음 |

에너지 제어 용착 공정의 건전성을 확인하기 위하여 추가적으로 금속 분말에 대한 시험평가를 수행하도록 협의 할 수 있다. 사용하는 금속 분말의 생산 로트(Lot)에 따라 아래 항목에 대하여 시험을 수행하는 것이 바람직하다. 금속 분말의 특성평가 방법은 KS D ISOASTM 52907을 준용할 수 있다.

* 화학성분
* 입도
* 흐름성
* 겉보기 밀도
* 형상 정보

적층제조절차서 및 공정절차검증서의 세부 요건은 ISO/ASTM 52920, AWS D20.1/D20.1M 등 관련 국제표준을 참조할 수 있다.

적층 공정의 안정성 및 품질 향상을 위해 모니터링 시스템을 통해 공정 변수를 가변적으로 제어하는 경우, 가변 제어되는 공정 변수(조작 변수)와 제어 변수를 명확히 정의하여야 한다. 또한, 제어 변수의 목표 값과 조작 변수의 제어 범위 및 허용치를 명시하고, 이를 바탕으로 제어 알고리즘을 상술하여야 한다.

SPS B 3DFIA 25-0000:2025
해 설

이 해설은 이 표준과 관련된 사항을 설명하는 것으로 표준의 일부는 아니다.

# 개 요

## 제정의 취지

이 표준은 분말을 활용하는 레이저 기반 에너지 제어 용착(Laser beam Directed Energy Deposition, DED-LB) 방식 적층제조 기술을 이용하여 수리(보수)한 금속 부품의 품질을 평가하기 위한 절차와 방법을 규정하기 위해 개발되었다.

## 제정의 경위

적층제조 부품의 품질평가 방법이나 시험항목에 관하여 국외 표준 AWS D20.1/D20.1M:2019, ASME PTB-13-2021 및 ISO/ASTM 52927:2024 등과 개발중인 DED 공정의 일반표준 ISO/ASTM DIS 52922 등이 있으나, 비단 DED-LB 뿐만 아니라 적층제조 공정을 활용하여 보수한 부품의 품질평가 방법에 관한 민간표준은 국내는 물론 국외에도 없는 실정이다. 같은 취지로 개발된 미군의 표준 MIL-STD-3049, Materials deposition, DDM: direct deposition of metal for remanufacture, restoration and recoating (05-SEP-2013) 이 있으나, 품질평가 항목에 대한 간단한 기술만 있을 뿐, 구체적인 품질평가 방법 및 보수 부품의 품질 평가 방법에 관한 상세 규정은 다루고 있지 못한 실정이다. 따라서 앞서 언급한 표준들을 종합적으로 비교, 검토하고 국내 DED-LB 공정을 활용한 부품 보수 사례 및 데이터를 바탕으로 DED-LB 보수 부품의 품질평가 방법을 규정하였다. 본 표준은 향후 와이어 등 다른 형태의 소재를 사용하는 레이저 기반 에너지 제어 용착 공정의 보수부품을 품질평가 하기 위한 표준 개발에도 활용될 수 있을것으로 판단된다.

**SPS B 3DFIA 25-0000**:**2025**

|  |
| --- |
| **SPS****SPSP****SPSPS****SPSPSP****SPSPSPS****SPSPSPSP** |

|  |
| --- |
| **Additive manufacturing — Qualification of parts repaired by laser direct energy deposition** |
| **ICS 25.030** |