

## 45도 적층 PBF 316L의 염화물 수용액에서의 국부 부식 거동

이준섭<sup>1,†</sup> · 주티엔유엔<sup>1</sup> · 이정미<sup>2</sup> · 김성윤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립창원대학교 재료금속공학과

<sup>2</sup>현대자동차 남양연구소 표면처리재료개발팀

(2026년 3월 12일 접수, 2026년 4월 07일 수정, 2026년 4월 13일 채택)

## Localised Corrosion Behaviour of 45°-Built PBF 316L in Chloride Solution

Jun-Seob Lee<sup>1,†</sup>, Tian-Yuan Zhu<sup>1</sup>, Jeongmi Lee<sup>2</sup>, and Seong-Yoon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Metallurgy, Changwon National University, Changwon 51140, Republic of Korea

<sup>2</sup>Surface Treatment Materials Development Team, Hyundai Motor Company, Hwaseong, 18280, Republic of Korea

(Received March 12, 2026; Revised April 07, 2026; Accepted April 13, 2026)

A 45°-built laser powder bed fusion (LPBF) 316L stainless steel specimen, heat-treated at 900 °C for 2 hours in argon, was investigated in a 3.5 wt% NaCl solution at room temperature. Surface-exposed pores were observed on both the build-direction (BD) and transverse-direction (TD) planes; however, EDS mapping did not reveal pronounced elemental segregation around the pores. Optical microscopy indicated predominantly equiaxed grains. EBSD kernel average misorientation (KAM) analysis showed that misorientation above 1° persisted over a substantial area after heat treatment. SEM analysis following anodic polarisation, terminated at 100  $\mu\text{A cm}^{-2}$ , confirmed that localised corrosion primarily initiated and/or propagated at pore openings and in the adjacent substrate regions on both planes. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) responses exhibited comparable impedance values between the BD and TD, a phase maximum near -70°, and a low-frequency inductive feature. This low-frequency inductive behaviour suggested the influence of pore-related local environments on the interfacial response of PBF 316L stainless steel under chloride exposure.

**Keywords:** Localised corrosion, Chloride ion, Additive manufacturing, Electrochemical techniques

### 1. 서론

316L 스테인리스강은 내열·내식 특성과 가공성을 바탕으로 다양한 기계·구조 부품에 사용되며 주조, 단조, 절삭 가공, 용접 등 여러 제조 공정을 통해 부품이 제작된다. 최근에는 복잡 형상의 제작과 설계 자유도를 확보하기 위한 방법으로 적층제조가 적용되고 있으며 적층제조 공정 가운데 분말 베드 융합(Powder Bed Fusion, PBF)은 정밀한 형상 구현과 치수 재현성을 바탕으로 적용 범위가 넓다 [1-9]. 이러한 316L 부품은 대기 환경뿐 아니라 염화물 이온을 포함하는 수용액, 세정수 및 냉각수 등 실제 운용 환경에 노출되며 이때 부품의 운용 신뢰성은 국부 부식 특성에 의해 영향을 받는다 [1-5].

한편 PBF는 층별 용융·응고 과정이 반복되는 제조 특성상 표면 거칠기와 국부적인 형상 불연속이 동반되기 쉽다 [10,11]. 따라서 염화물 환경에서의 표면 전기화학 거동은 PBF 316L 부품의 운용 신뢰성과 연관이 있다.

PBF로 제작된 부품에서는 경사면이나 돌출부 아래면(오버행)이 자주 나타나며, 이 구간은 지지대의 배치와 제거 작업에 직접적인 영향을 준다. PBF 공정에서는 경사각이 작아질수록 지지대 없이 형상을 유지하기 어려운 면적이 늘어나 지지대 사용이 증가하며 설계/제작 단계에서는 45° 전후를 지지대 필요 여부를 판단하는 기준 각도로 삼는 경우가 많다 [10,11]. 금속 부식 거동의 관점에서는 45° 경사면에서 적층 레이어 및 용융 풀(melt pool) 경계가 표면에 노출되는 기하학적 배향이 달라질 수 있어 국부 부식 개시 거동이 표면 방향에 따라 다르게 나타날 수 있다.

적층제조 316L 부품은 제작 후 잔류응력 완화와 조

<sup>†</sup>Corresponding author: junseoble@changwon.ac.kr

이준섭: 교수, 주티엔유엔: 석사과정, 이정미 : 연구원, 김성윤: 연구원

직 안정화를 목적으로 열처리가 적용되는 경우가 많고 열처리 조건에 따라 염화물 환경에서의 전기화학 지표가 달라지는 결과가 보고되었다 [1-3]. Bedmar 등은 316L-PBF 시편을 400–1100 °C 범위에서 열처리한 뒤 염화물 환경에서 평가하였고 400 °C 열처리에서 분극저항이 증가한 반면 더 높은 온도 조건에서는 분극저항이 감소하는 결과를 보고하였다 [2]. Liu 등은 1000 °C 및 1200 °C 열처리(각 2 h) 조건에서 재결정 및 입계 특성 변화(예: Σ3 쌍정 입계 증가), 개재물 및 부동태 피막 조성 변화가 함께 나타났고 이러한 변화가 전기화학적 부식 거동 차이로 이어졌다고 보고하였다 [3]. 더불어, PBF로 제조된 316L에서는 공정 과정에서 미세 기공(pore)이 형성될 수 있으며 후열처리 이후에도 일부 기공이 잔류한 상태로 관찰되었다 [4,5].

316L에서도 현장 적용을 염두에 두고 900 °C 전후에서 수 시간 유지하는 열처리 사례가 보고되었다 [6-9]. 그러나 45° 적층 및 응력 제거 열처리 상태에서 염화물 용액에서의 전기화학 결과와 시험 후 표면에서 확인되는 국부 부식 형태를 함께 제시한 보고는 많지 않다.

본 연구에서는 45° 적층 조건으로 제조된 PBF 316L 스테인리스강 시편을 900 °C 열처리한 상태를 대상으로 염화물 이온을 포함하는 수용액 환경에서의 부식 거동을 파악하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시편 제조 및 후 열처리

316L 스테인리스강 시편은 분말 베드 융합(Powder Bed Fusion, PBF) 공정으로 제조되었다. 사용된 금속 분말은 316L 분말(Sandvik)이었으며, 입도는 Dv 10, 50, 90 각각 20, 34, 57 μm였다. 적층 가공을 위하여 Concept Laser 사의 Mlab 장치를 사용하였다. 시편은 빌드에 대해 45° 적층 각도로 제작되었다. 주요 공정 조건은 레이저 출력 210 W, 주사 속도 900 mm s<sup>-1</sup>, 헤치 간격 0.1 mm, 적층 두께 0.04 mm였으며, stripe 스캔 방식으로 각 레이어마다 67° 회전시키며 적층하였다. 시편의 크기는 10 × 10 × 70 mm이다. 제조 후 시편은 900 °C 아르곤 분위기에서 2 h 열처리한 뒤 노냉하였다.

### 2.2 시편 준비 및 미세조직 관찰

조직 관찰용 시편은 관찰면이 노출되도록 10 × 10 × 5 mm 크기로 절단한 뒤, 에폭시계 수지로 마운팅하였다. 연마는 SiC 연마지 #3000번과 1 μm 다이아몬드 서스펜션을 이용해 단계적으로 수행하였고 최종 연마는 0.025 μm 콜로이드 실리카로 마무리하였다. 시편 표면은 미세 조직 관찰을 위하여 10 wt% Oxalic acid에서

6 V로 40초간 에칭하였다. 광학현미경(Optical Microscope, OM)과 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy; SEM, MIRA3, TESCAN)으로 시편 표면을 분석하였다.

## 2.3 전기화학 시험

전기화학 시험은 3전극 셀에서 수행하였다. 작업전극은 PBF 316L 시편이었고 노출 면적은 1 cm<sup>2</sup>이었다. 상대전극은 백금 메쉬, 기준전극은 Ag/AgCl 기준전극(포화 KCl; Silver/Silver chloride Electrode; SSE)을 사용하였다. 전해질은 상온의 3.5 wt% NaCl 수용액이었다.

삼전극을 전해질 용액에 침지하여 개방회로전극전위(open circuit potential, OCP)를 600 s 동안 측정하고 OCP 기준 -0.1 V에서 시작하여 100 μA cm<sup>-2</sup> 도달할 때까지 양의 전위 방향으로 0.5 mV s<sup>-1</sup> 속도로 스캔한 뒤 다시 음의 전위 방향으로 스캔하였다. 전기화학적 임피던스(Electrochemical Impedance Spectroscopy; EIS) 측정은 0.0 V<sub>SSE</sub>에서 수행하였으며 교류 진폭은 ±10 mV(rms), 주파수 범위는 10<sup>5</sup> Hz ~ 10<sup>-2</sup> Hz로 설정하였다. 각 전기화학 시험은 3번 이상 수행하여 재현성을 확인하였다.

## 3. 연구결과 및 고찰

Fig. 1은 45° 적층 시편에서 build-direction plane (BD-45)와 transverse-direction plane (TD-45) 표면의 기공 면적분율(area fraction, %) 분포를 박스플롯으로 나타낸 결과이다. 시편은 경면 연마 후 이미지 분석을 통해 표면에 노출된 기공의 면적분율을 산출하였으며 각 관찰면에서 최소 50개 이상의 데이터를 사용하였다. BD-45의 기공 면적분율은 중앙값이 약 0.26%, 평균이 약 0.41%

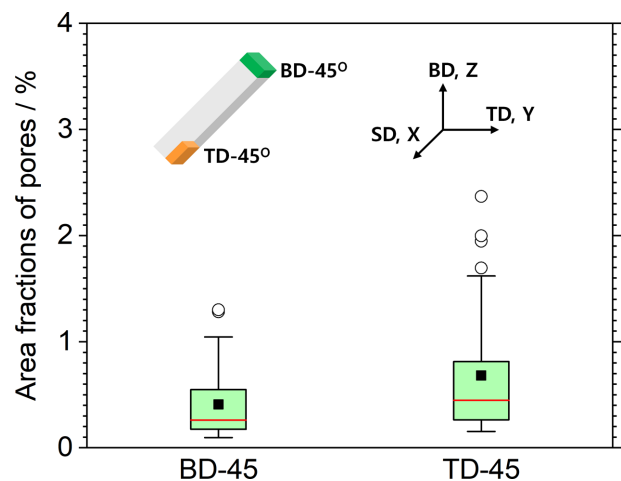


Fig. 1. Box plots of the surface pore area fraction (%) measured on the BD-45 and TD-45 planes of the 45°-built PBF 316L specimen

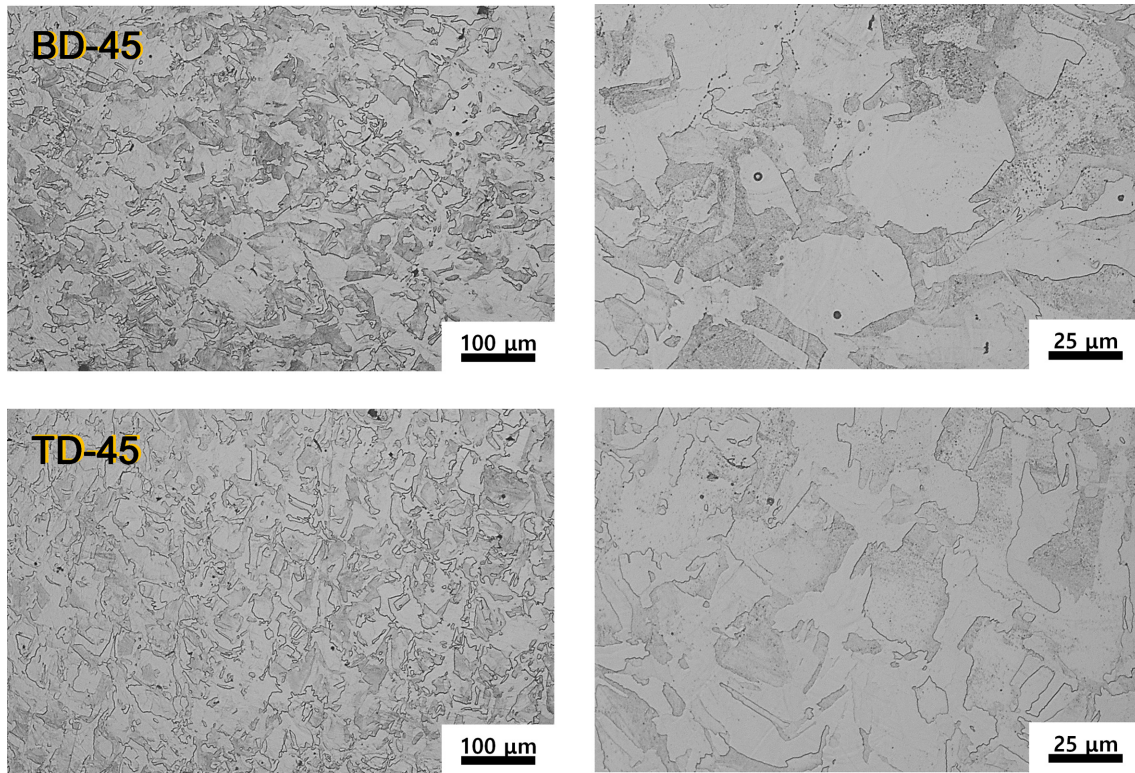


Fig. 2. Optical micrographs of the heat-treated PBF 316L specimen observed on the BD-45 and TD-45 planes

로 나타났다. TD-45의 경우 중앙값은 약 0.44%, 평균은 약 0.68%였다. 중심값 기준으로 TD-45의 중앙값은 BD-45보다 약 0.18% 높았고 평균도 약 0.27% 높은 수준으로 나타났다. 이 값은 경면에서 관찰된 표면 노출 기공의 면적분율로 정의되며 기공의 삼차원 부피분율을 직접적으로 의미하지는 않는다.

Fig. 2는 45° 적층 시편을 900 °C에서 열처리한 후, 10wt% 옥살산 전해 에칭을 통해 얻은 BD-45 및 TD-45 면의 광학현미경(OM) 사진이다. 두 면 모두에서 등축에 가까운 결정립이 주로 관찰되었고 입계가 비교적 뚜렷하게 나타났다. 또한 본 배울 범위에서는 적층 제조 과정에서 형성되는 세포상 조직 또는 용융 풀 내부의 미세조직 대비가 뚜렷하게 관찰되지 않았다. 관찰 배울 범위에서 BD-45와 TD-45 사이에 결정립 형상이나 분포의 뚜렷한 방향성 차이는 두드러지지 않았으며 점상으로 관찰되는 기공은 두 면에서 산재하는 형태로 확인되었다.

Fig. 3은 45° 적층 시편의 BD-45 및 TD-45 면에서 측정된 EBSD 결과를 나타낸 것이다. 두 면 모두에서 IPF (Inverse Pole Figure) map은 결정립 단위의 방위 분포를 보여주며, phase map에서는 측정 영역이 주로 FCC (Face-Centred Cubic) 구조로 확인되었다. KAM (Kernel Average Misorientation) map (0.05~5°)에서는 대부분의

영역이 낮은 편차 구간에 해당하였고 일부 구간에서는 KAM 대비가 뚜렷한 국부 영역이 관찰되었다. 특히 점상으로 관찰되는 기공 주변에서는 KAM 대비가 주변 기공보다 높게 나타나는 경향이 확인되었고 기공과 무관한 영역에서도 띠 형태의 분포와 국부 영역의 KAM 변화가 함께 관찰되었다. KAM 분포를 수치화하기 위해 1° 이상의 방위 편차를 갖는 측정점의 면적분율을 산출한 결과 BD-45에서 71.3%, TD-45에서 54.6%로 나타났다. 이는 열처리 이후에도 미세 수준의 misorientation이 잔존함을 나타내며 잔류응력의 잔존이나 국부 변형, 나노 수준의 화학적 불균일성 등이 관련 요인으로 고려할 수 있다 [12-15].

Fig. 4는 45° 적층 시편의 BD-45 및 TD-45 면에서 기공이 포함된 위치를 대상으로 수행한 EDS mapping 결과를 나타낸 것이다. 두 면 모두에서 SEM 이차전자상 사진과 함께 Fe, Cr, Ni, Mo 및 C에 대한 원소 분포를 제시하였다. 기공은 모든 원소 map에서 신호가 없는 영역으로 나타났으며 기공 주변에서 특정 원소의 국부적인 농축 또는 고갈이 뚜렷하게 관찰되지는 않았다. 본 시편에서는 표면에 노출된 기공과 잔존 misorientation이 염화물 환경에서의 국부 반응 위치를 결정하는 인자로 작용할 가능성이 있다.

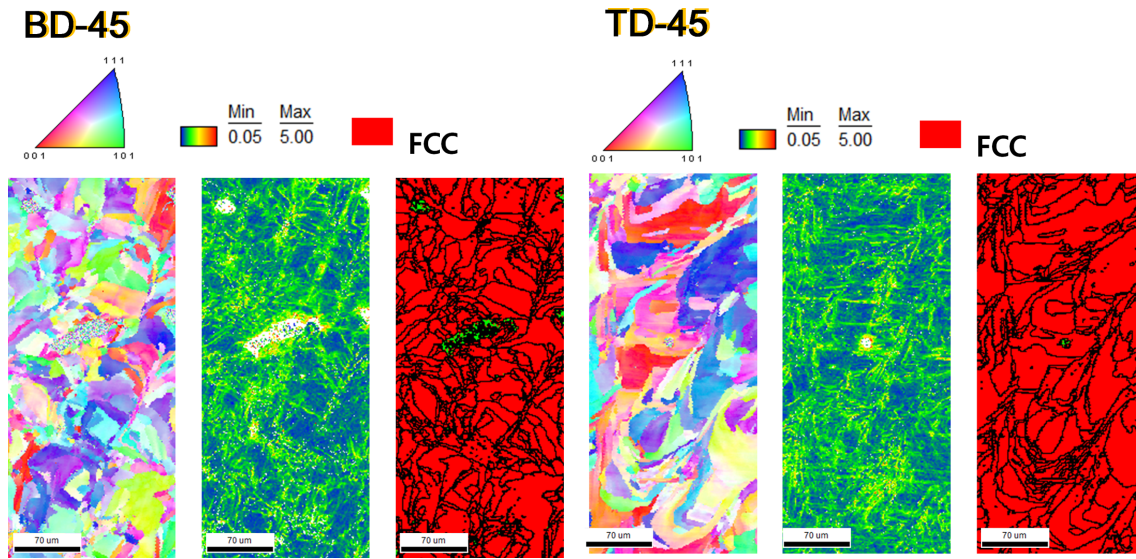


Fig. 3. EBSD results obtained on the BD-45 and TD-45 planes of the 45°-built PBF 316L specimen after heat treatment at 900 °C. Inverse pole figure (IPF) orientation maps, kernel average misorientation (KAM) maps, and phase maps are presented

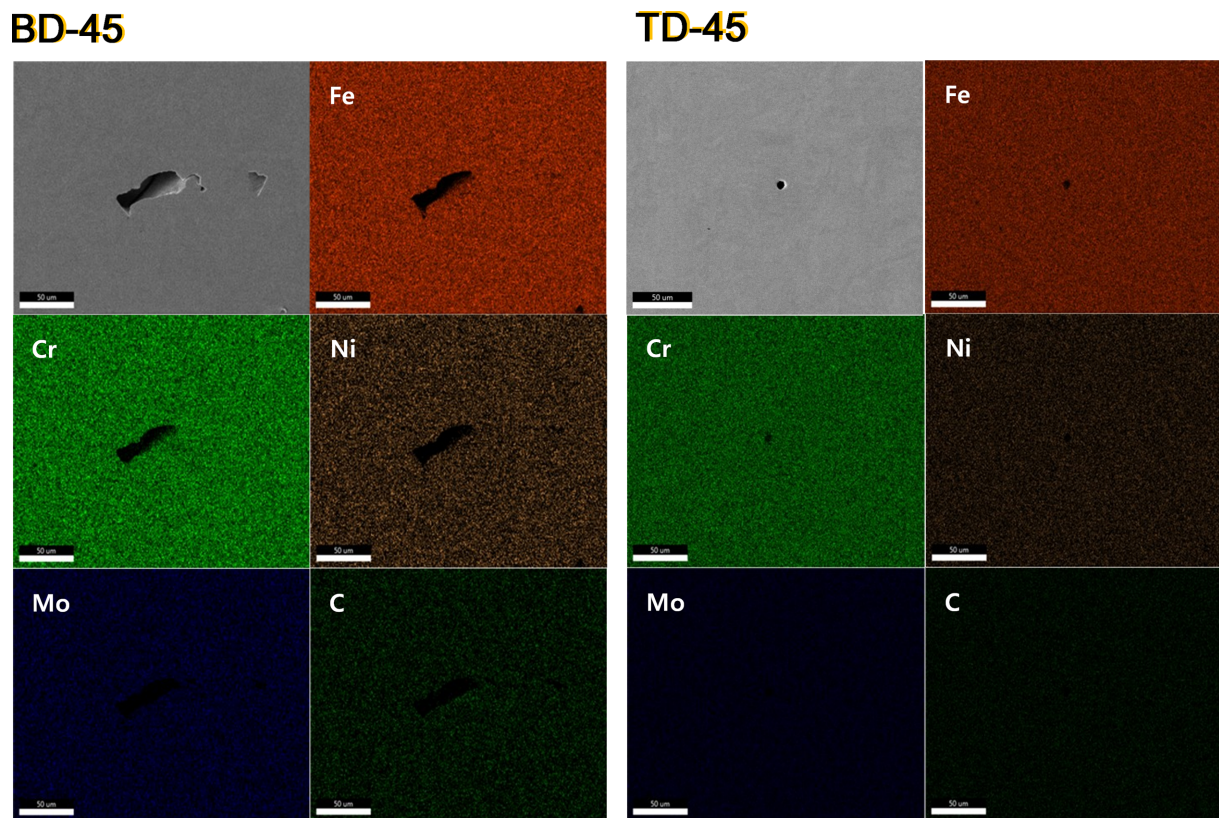


Fig. 4. EDS elemental maps acquired at pore-containing regions on the BD-45 and TD-45 planes of the 45°-built PBF 316L specimen

Fig. 5는 3.5 wt% NaCl 수용액에서 45° 적층 시편의 BD-45 및 TD-45 면에 대해 측정된 순환 동전위 분극 결과를 나타낸 것이다. 두 면의 부식전위는 모두  $-0.2 V_{SSE}$  부근에서 나타났다. 정방향 주사에서는 양(+)의 전

위 방향으로 주사함에 따라 전류밀도가 전반적으로 증가하였으나 그 증가 양상은 단조롭지 않았고 전위 구간에 따라 전류 응답의 불규칙한 변화와 순간적인 급증이 반복적으로 나타났다. 이러한 거동은 표면에 노출된 기

공을 중심으로 국부 부식이 간헐적으로 개시되거나 전파되면서 나타난 비정상 전류 응답으로 해석하였다. 정방향 주사는 전류밀도  $100 \mu\text{A cm}^{-2}$ 까지 진행되었으며, 해당 전류밀도에서의 전위 값은 두 면 모두  $0.2 \text{ V}_{\text{SSE}}$  범위에 위치하였다. 역방향 주사에서는 정방향 곡선과 경로가 겹치지 않는 이력 거동이 나타났다. 또한 이 구간

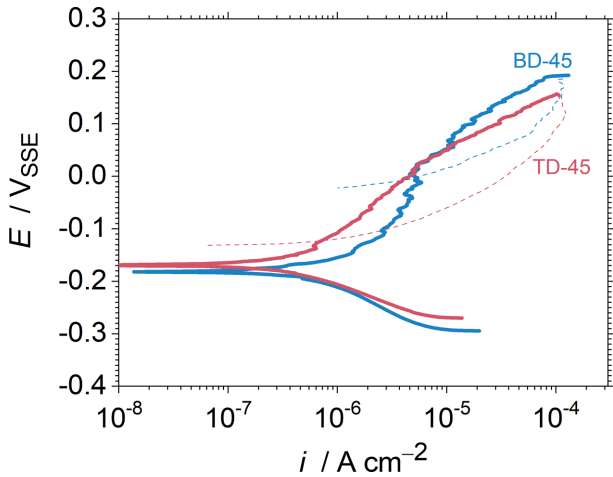


Fig. 5. Cyclic potentiodynamic polarisation curves measured on the BD-45 and TD-45 surfaces of the 45°-built PBF 316L specimen in 3.5 wt% NaCl solution at room temperature

에서는 전류가 안정한 부동태 전류로 유지되지 않았고 완만한 증가와 변동이 함께 관찰되었다. 이 계의 분극 응답은 균일한 부동태 유지 과정만으로 설명되기 어려우며 부동태 거동 위에 국부 부식의 개시와 전파가 중첩된 비정상 응답으로 판단하였다. 본 연구에서는 Tafel 외삽을 통한 부식전위와 부식전류밀도를 일반 부식 속도의 정량 지표로 제시하지 않았으며 분극 후 표면 관찰 결과를 바탕으로 국부 부식 거동을 해석하였다.

Fig. 6은 3.5 wt% NaCl 수용액에서 별도의 양극 동전위 분극을 정방향 주사만 수행하여 전류밀도  $100 \mu\text{A cm}^{-2}$ 에서 종료한 뒤 시편 표면을 관찰한 SEM 이차전자상 이미지이다. BD-45와 TD-45 모두에서 표면에 노출된 기공을 중심으로 국부 부식이 발생하였고 국부 부식은 기공 개구부 내부와 주변 지지 영역에서 발생하였다. BD-45에서는 입구가 큰 기공의 내·외부에서 국부 부식이 관찰되었고 그 위치는 주로 기공 개구부 내부와 주변 지지 영역에 해당하였다. TD-45에서는 기공이 노출된 위치를 중심으로 국부 부식이 관찰되었다. 기공은 3차원 결함이므로 표면 SEM 관찰만으로는 내부 형상과 연결 구조를 포함한 깊이 방향 변화를 함께 판단하기 어렵다. 그럼에도 분극 후 국부 부식이 두 면 모두에서 기공 개구부와 인접 지지에서 주로 관찰된 점은 표면 노출 기공이 국부 부식의 우선 반응 위치로 작용하였음

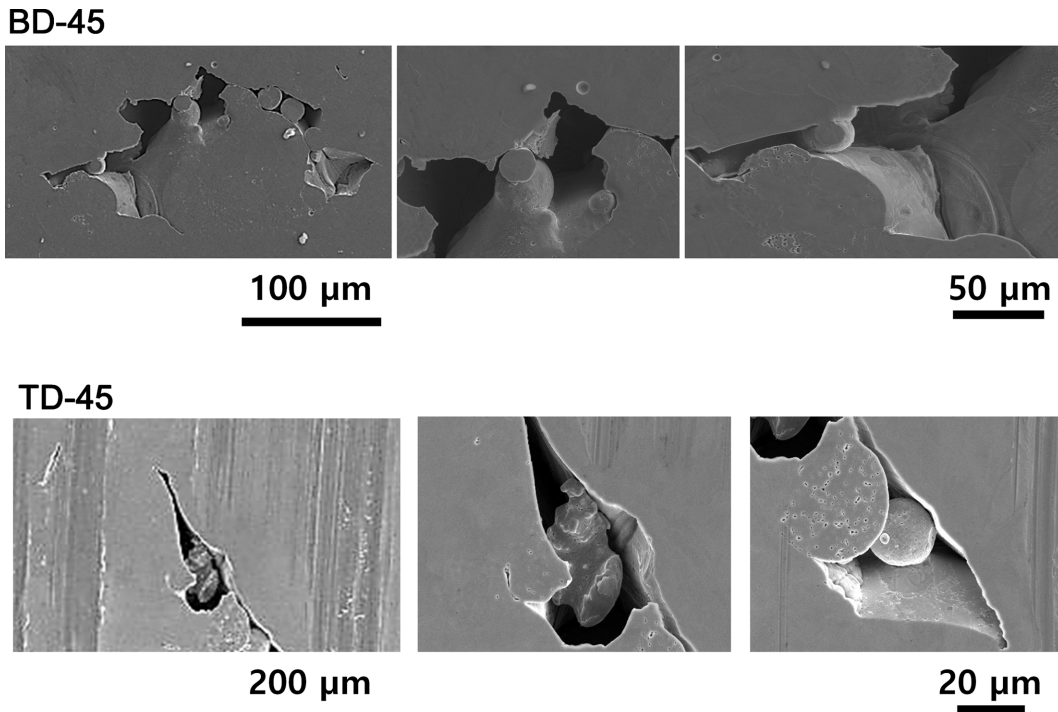


Fig. 6. Secondary electron SEM images of the BD-45 and TD-45 surfaces after anodic potentiodynamic polarisation in 3.5 wt% NaCl solution, terminated at  $100 \mu\text{A cm}^{-2}$

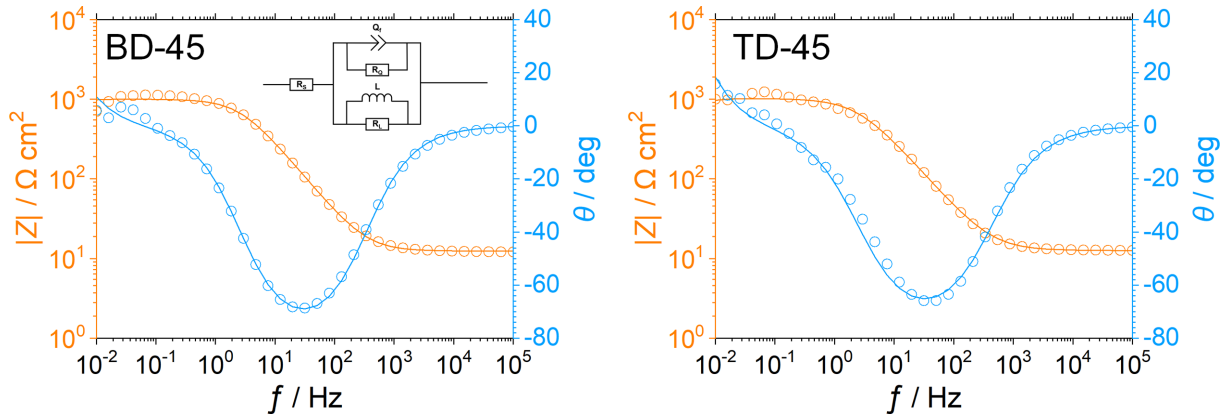


Fig. 7. Bode plots of the BD-45 and TD-45 surfaces at 0.0 V<sub>SSE</sub> in 3.5 wt% NaCl solution at room temperature

을 시사한다. 즉, 양극 분극 중 나타난 전류 변동이 단순한 부동태 전류 변화가 아니라 기공 개구부와 인접 기지에서 국부 부식 개시 및 전파와 연관되었을 가능성을 시사한다.

Fig. 7은 BD-45 및 TD-45 면에서 측정된 임피던스 보데선도를 나타낸 것이다. 두 면의 |Z|분포는 전 주파수 구간에서 큰 차이가 나타나지 않았고 고주파 및 저주파 영역에서의 임피던스 수준도 유사하였다. 위상각은 중간 주파수 구간에서 약 -70°의 최대값을 보였으며 주파수에 따라 위상각의 변화가 함께 관찰되었다. 저주파수 영역에서는 위상각 거동이 단일 용량성 응답으로만 설명되기 어려운 형태를 보였고 삽입된 등가회로와 같이 인덕턴스 성분을 포함하는 응답이 확인되었다. 이 성분은 독립적인 물리적 인덕턴스라기보다 국부 환경 변화와 피막 상태 변화가 반영된 유도성 응답으로 해석하였다. 즉, 저주파수 영역에서 시간 지연을 갖는 과정이 전기화학 응답에 반영되었음을 시사한다. Fig. 5의 불규칙한 전류 응답과 이력 거동 그리고 Fig. 6의 기공 중심 국부 부식 양상을 함께 고려하면 본 임피던스 응답은 균일한 부동태 거동만으로 설명되기 어렵다. 특히 저주파수 응답은 기공 주변의 국부 환경 변화와 연관된 지연 응답이 포함된 결과로 해석하였다.

45° 적층 시편은 900 °C 열처리 이후 광학현미경 및 EDS 관찰에서 뚜렷한 하위 미세조직 대비나 기공 주변의 거시적 조성 편차를 보이지 않았다. 그러나 EBSD KAM 분석에서는 1° 이상의 방위 편차가 넓은 면적으로 잔존하였다. 또한 분극 곡선에서는 불규칙한 전류 변동과 이력 거동이 나타났고 분극 후 표면에서는 국부 부식이 기공 개구부와 인접 기지에서 주로 관찰되었다. BD-45와 TD-45 사이의 차이가 크지 않았던 것은 두 면 모두에서 표면 노출 기공이 공통적으로 존재하였고 국부 부식도 주로 기공 개구부와 인접 기지에서 관찰되었

기 때문으로 판단하였다. 즉 본 계에서는 관찰면 방향이나 평균 조성의 차이보다 표면에 노출된 기공 형상과 그 주변의 국부 미세구조 상태가 국부 부식 거동을 더 크게 좌우한 것으로 판단하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 45° 적층 조건으로 제조한 PBF 316L 스테인리스강을 900 °C에서 2 h 열처리한 뒤, 3.5 wt% NaCl 수용액에서 전기화학적 부식 거동과 분극 후 표면의 국부 부식 양상을 함께 제시하였다.

열처리 후에도 BD-45와 TD-45 두 면에서 기공이 관찰되었다. 미세조직 관찰 결과, 두 면 모두 등축에 가까운 결정립이 확인되었으며 관찰 배울 범위에서 뚜렷한 하위 미세조직 대비는 나타나지 않았다. 반면 EBSD KAM 분석에서는 1° 이상 방위 편차가 절반 이상의 면적에서 확인되어 열처리 이후에도 misorientation이 잔존함을 보여주었다. 순환 동전위 분극에서는 정방향 주사 중 전류 응답의 불규칙한 변화가 나타났다. 분극 종료 후 SEM 관찰에서는 두 면 모두에서 국부 부식이 기공의 내·외부를 중심으로 관찰되었다. 또한 임피던스 결과에서 두 면의 임피던스 수준은 유사하였으며 저주파수 영역에서 유도성 거동이 확인되었다. 이는 기공 주변의 국부 환경과 연관된 지연 과정이 전기화학 응답에 반영된 결과로 해석하였다.

#### References

1. F. Andreatta, A. Lanzutti, R. I. Revilla, E. Vaglio, G. Totis, M. Sortino, I. de Graeve and L. Fedrizzi, Effect of Thermal Treatment on Corrosion Behavior of AISI 316L Stainless Steel Manufactured by Laser Powder Bed

- Fusion, *Materials*, **15**, 6768 (2022). Doi: <https://doi.org/10.3390/ma15196768>
2. J. Bedmar, S. García-Rodríguez, M. Roldán, B. Torres and J. Rams, Effects of the heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of 316 L stainless steel manufactured by Laser Powder Bed Fusion, *Corrosion Science*, **209**, 110777 (2022). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110777>
  3. W. Liu, C. Liu, Y. Wang, H. Zhang and H. Ni, Effect of heat treatment on the corrosion resistance of 316L stainless steel manufactured by laser powder bed fusion, *Journal of Materials Research and Technology*, **32**, 3896 (2024). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.08.194>
  4. M. Kazemipour, M. Mohammadi, E. Mfoumou and A. M. Nasiri, Microstructure and Corrosion Characteristics of Selective Laser-Melted 316L Stainless Steel: The Impact of Process-Induced Porosities, *JOM*, **71**, 3230 (2019). Doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03647-w>
  5. D. Yang, X. Kan, P. Gao, Y. Zhao, Y. Yin, Z. Zhao and J. Sun, Influence of porosity on mechanical and corrosion properties of SLM 316L stainless steel, *Applied Physics A*, **128**, 51 (2022). Doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-021-05191-4>
  6. C. Penot, J. Wharton, A. Addison, Y. Wang and Q. Lu, Heat treatment effects on the corrosion performance of wire arc additively manufactured ER316LSi stainless steel, *npj Materials Degradation*, **7**, 48 (2023). Doi: <https://doi.org/10.1038/s41529-023-00359-0>
  7. P. Suárez Ocaño, L. A. Ávila Calderón, L. Agudo Jácome, B. Rehmer, G. Mohr, A. Evans and B. Skrotzki, Effect of 700–900 °C heat treatments and room and high temperature tensile deformation on the microstructure of laser powder bed fused 316L stainless steel, *Materials Science and Engineering A*, **939**, 148469 (2025). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.148469>
  8. V. Salarvand, H. Sohrabpoor, M. A. Mohammadi, M. Nazari, R. Raghavendra, A. Mostafaei and D. Brabazon, Microstructure and corrosion evaluation of as-built and heat-treated 316L stainless steel manufactured by laser powder bed fusion, *Journal of Materials Research and Technology*, **18**, 4104 (2022). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.156>
  9. W.-J. Lai, A. Ojha, Z. Li, C. Engler-Pinto and X. Su, Effect of residual stress on fatigue strength of 316L stainless steel produced by laser powder bed fusion process, *Progress in Additive Manufacturing*, **6**, 375 (2021). Doi: <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00164-8>
  10. A. Kumar, M. A. Shandiz, F. Sikan and M. Brochu, Microstructural and mechanical properties of an internal support-free IN625 closed impeller manufactured via laser powder bed fusion (L-PBF), *Materials Science and Engineering A*, **874**, 145080 (2023). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145080>
  11. G. Yang, H. Li, Z. Li, Z. Zhu, R. Liu, Q. Zhang, Y. Liu and J. Yao, Support design of overhanging structure for laser powder bed fusion, *Journal of Materials Research and Technology*, **24**, 8693 (2023). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.087>
  12. D. Riabov, A. Leicht, J. Ahlström and E. Hryha, Investigation of the strengthening mechanism in 316L stainless steel produced with laser powder bed fusion, *Materials Science and Engineering A*, **822**, 141699 (2021). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141699>
  13. M. Schreiber, J. G. Speer, J. Klemm-Toole, J. Gockel, C. Brice and K. O. Findley, Influence of annealing on microstructures and mechanical properties of laser powder bed fusion and wire arc directed energy deposition additively manufactured 316L, *Materials Science and Engineering A*, **917**, 147390 (2024). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.147390>
  14. G.-S. Jung, Y.-H. Park, D.-J. Kim and C.-S. Lim, Study on Corrosion Properties of Additive Manufactured 316L Stainless Steel and Alloy 625 in Seawater, *Corrosion Science and Technology*, **18**, 258 (2019). Doi: <https://doi.org/10.14773/cst.2019.18.6.258>
  15. D.-I. Seo, J.-B. Lee, Comparing Resistances to Pitting Corrosion of Additive Manufactured Ti-6Al-4V Alloys in NaCl and NaBr Aqueous Solutions, *Corrosion Science and Technology*, **18**, 110 (2019). Doi: <https://doi.org/10.14773/cst.2019.18.3.110>