

헤테로제닉
금속적층제조
소재부품
연구센터



주관연구기관
포항공과대학교

주관연구책임자
김형섭

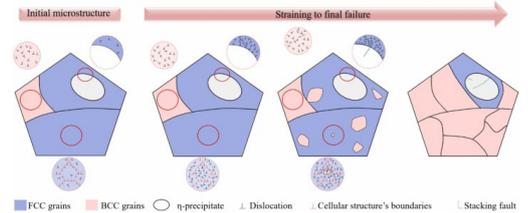


연구성과
1

One-step DED공정으로 제작된 금속적층제조용 중엔트로피 합금의 우수한 극저온 및 상온 기계적 물성

[One-step DED 공정으로 제작된 중엔트로피 합금의 뛰어난 기계적 물성]: 다양한 엔지니어링 응용 분야에서, 형상의 자유와 함께 강도와 연성의 시너지 효과를 내는 금속 적층제조 부품의 개발이 요구됨. 또한, 기존의 부품제조 공정 절차들인 주조/소결, 가공, 열처리 단계들을 생략하고 금속적층제조 공정 한번만으로 우수한 기계적 물성을 갖는 소재 개발이 요구됨. 본 연구에서는 금속적층제조에 적합한 Fe65Ni15Co8Mn8Ti3Si(at%) 중엔트로피 합금을 개발하였음. 인쇄된 금속적층제조용 중엔트로피 합금은 다양한 결정립 크기, 다중상 구조, η 나노석출물, Mn,Ti,Si가 용질원자분리된 셀구조를 포함한 atomic~micro scale의 헤테로 구조로 제조되었음. 특히, DED공정 동안 Mn, Ti 및 Si를 포함한 일부 합금 원소는 매트릭스의 확산성과 용해도가 다르기 때문에 η 나노석출물의 in-situ 형성을 유발하는 비평형 조성 조건이 구현되어 항복강도 향상에 기여하는 것을 규명했음.

또한, 변형 도중 셀구조를 기준으로 결정립계와 석출물에서 Transformation-Induced Plasticity (TRIP)이 1차로 발현되고, FCC와 BCC 경계에서 TRIP이 2차로 발현되어 향상된 인장강도와 균일연신율의 원인을 규명했음. 더 나아가 극저온 환경에서의 적용까지 검토하기 위해 액체질소 온도에서도 연구되었음.



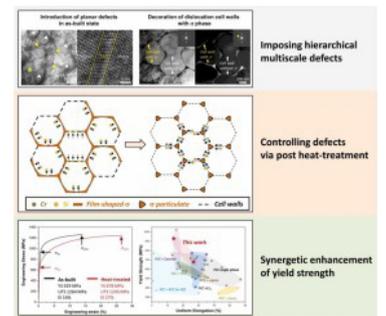
- » (논문) Extraordinary combination of strength and ductility in an additively manufactured Fe-based medium entropy alloy through in situ formed η-nanoprecipitate and heterogeneous microstructure, Additive Manufacturing, 2023 (IF=11.632)

연구성과
2

L-PBF공정으로 제작된 헤테로제닉 중엔트로피 합금의 계층적 결함 구조와 우수한 기계적 물성

CoCrNi 중엔트로피 합금은 3원계 중엔트로피합금들 중에서 뛰어난 기계적 특성으로인해 학문적으로 많은 주목을 받고 있었음. 그러나 상대적으로 낮은 항복강도가 단점이었고, 우수한 항복강도가 특징인 금속적층제조 공정으로 도입하여 레이저 베드 융합(L-PBF) 공정을 이용하여 CrCoNi 중엔트로피 합금의 낮은 항복 강도와 관련된 단점을 극복했음.

그럼에도 불구하고 CoCrNi 중엔트로피 합금의 추가 항복강도 향상은 셀구조만으로는 구현하기엔 여전히 어려웠으며, 본 연구에서는 Si원소를 소량 첨가하여 적층 결함 에너지(SFE)를 줄이고 Cr이 있는 전위 셀에서 분리를 촉진하여 계층적 결함 구조를 구현하였음. 제작된 적층제조용 중엔트로피 합금인 CrCoNiSi0.3은 σ 상, 나노쌍정을 갖는 929MPa의 높은 항복 강도가 달성되었음. 또한, 감소된 SFE는 변형 쌍정을 촉진하여 상당한 가공경화를 유도하여 강도를 효과적으로 향상시켰음. 그 결과, 1264MPa의 인장 강도와 14%의 적당한 연성 갖는 중엔트로피 합금이 제조되었음. 추가적으로 후열처리를 통해 σ상의 형태를 변화시켜 인장강도의 손실없이 연성 또한 크게 향상시킬 수 있었음.



- » (논문) Multiscale defects enable synergetic improvement in yield strength of CrCoNi-based medium-entropy alloy fabricated via laser-powder bed fusion, Additive Manufacturing, 2022 (IF=11.632)

연구성과
3

고엔트로피 합금 설계가 가능한 열역학 parameter DB 개발 (기술이전)

다양한 원소들이 비슷한 분율로 들어가는 고엔트로피 및 중엔트로피 합금의 경우 특정 조성 및 공정 조건에서 상평형 및 상 출현을 제대로 예측하기 위해서는 3원계 이상의 다원 상호작용에 대한 정교한 열역학 수식화가 필요함. 그러나 제한된 수의 주요 원소가 대부분을 차지하는 상용합금의 설계를 목적으로 하는 기성 열역학 DB의 경우 주요 원소가 아닌 원소 간 다원 상호작용은 무시하는 경우가 많으며, 이러한 예측 성능의 한계로 고엔트로피 합금의 조성 및 공정 설계에는 활용하기 어려움.

본 연구에서는 가장 널리 알려진 고엔트로피 합금인 Cantor 합금을 이루는 다원계(Co-Cr-Fe-Mn-Ni 5원계)를 중심으로 백여 개에 달하는 합금계에 대한 열역학 수식화 및 평가, DB 구축 작업을 진행함. 이를 통해 V 및 C 첨가 Cantor 합금, Cu 첨가 Cantor 합금, Al 첨가 Cantor 합금, Si 첨가 Cantor 합금, Co-Cr-Fe-Ni-Mo-C 합금 등 6원계, 7원계에 이르는 다양한 고엔트로피 합금에 대해 상평형 및 상 출현 예측을 통한 조성 및 공정 설계가 가능해짐.

- » (사업화-기술이전) 고엔트로피 합금 열역학 DB 개발(주) 버추얼랩, 정액기술료 10,000천원, 경상기술료 매출액의 40%