

펄라이트 강 선재 인발에서 미세조직 변화 모델링

윤상현¹, 이용신^{1, #}, 남원종², 박경태³

Modeling Microstructural Changes in Steel Wire Drawing

S.H. Yoon, Y- S. Lee, W-J Nam, K-T Park

Abstract

This paper is concerned with the prediction of micro structural changes of pearlitic steel wire during cold drawing. The most important microstructural aspects are ferrite/cementite interlamellar spacing, cementite shape and thickness, since those are crucial factors to determine the mechanical strength of pearlitic steel. In this study, a couple of new algorithms to predict the above microstructural changes are developed based on the deformation histories of macro material points obtained from finite element simulations for pearlitic steel wire drawing. Some predictions are shown. The special features of the algorithms developed in this study are discussed in details.

Key Words : Cementite, Pearlitic Steel Wire, Eutectoid Steel Wire, Finite Element Method, Non Local Effects.

1. 서 론

소성가공 중에 유발되는 미세조직의 변화가 재료의 기계적 성질의 변화를 일으키는 주 인자라는 것은 잘 알려졌다. 이에 엔지니어들은 미세조직과 기계적 성질의 관계를 이해하고 적절한 공정설계를 통하여 우수하거나 원하는 기계적 성질을 갖는 소재를 생산하는 공정을 설계한다. 예를 들면 ECAP이나 극저온 분말가공은 미세한 결정립을 만들어 소재의 강도를 높이고, 이속 압연된 강판은 통상의 압연강판보다 이방성의 발전이 적다. 또, 냉간에서 인발된 펄라이트 강선은 페라이트와 시멘타이트로 구성된 층상조직간의 간격과 시멘타이트의 간격이 좁아져 실용재료 중에 최고의 강도를 나타낸다. 신선에 의한 단면 감소율이 99%인 경우의 펄라이트 강선은 4GPa 이상의 강도를 갖는 것으로 보고되고 있다[1].

이에 소성변형 중에 수반되는 미세조직의 변화를 예측할 수 있는 모델의 개발이 절실히 요구되며 이와 관련된 많은 연구가 수행되어 왔다. 본

연구에서는 거시적 유한요소 공정해석의 결과에 근거하여 미시적 미세조직의 변화를 모델링하는 새로운 모델링 기법 몇 가지를 제시하고, 펄라이트 강선의 냉간 인발에서 시멘타이트의 형상과 크기의 변화를 예측하는 데 적용하는 예를 보여 주고자 한다.

2. 미세조직변화 모델링

신선된 펄라이트 강에서 시멘타이트 크기를 예측하는 종래의 기법은 비교적 단순하다. Fig.1 에 보이듯이 주어진 평균 단면 감소율에서 페라이트와 시멘타이트의 강도를 고려하여 각각의 상대적 두께 감소를 예측한다. 이것은 일종의 하계치를 주는 평균화 예측 기법으로 강선의 반경방향에 따르는 시멘타이트 분율의 변화를 예측할 수 없고, 형상변화에 대한 어떠한 정보도 줄 수 없다.

이에 본 연구에서는 신선 등의 유한요소공정 해석에서 소재의 거시적 변형이력을 조사하고 이를 바탕으로 미세조직의 변화를 예측하는 새로운 기법 몇 가지를 소개한다.

1. 국민대학교 대학원 기계설계학과
교신저자: 국민대학교, E-mail:yslee@kookmin.ac.kr
2. 국민대학교 신소재공학부
3. 한밭대학교 신소재공학부

3. 결과 및 분석

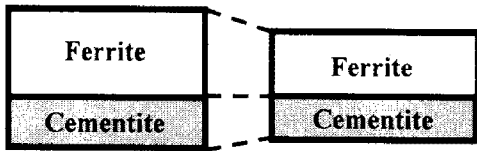


Fig. 1 Changes of the relative size of cementite to ferrite in cold drawn pearlitic steel wire.

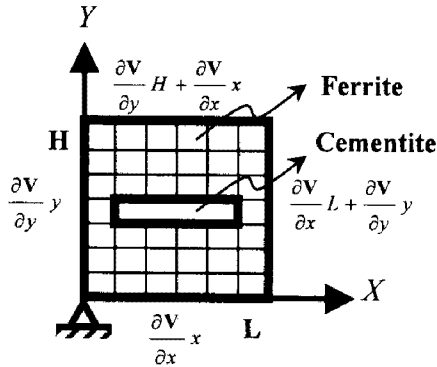


Fig. 2 A typical finite element mesh for unit problems reflecting the effects of local deformation.

본 연구에서 소개하는 기법은 라그랑지안 유한요소 해석과 오일러리안 해석 모두에 적용할 수 있다. 인발 공정의 경우에는 오일러리안 해석을 사용하는 것이 효율적이나 변형이력을 조사하는 것이 상대적으로 어렵다. 선재 인발의 오일러리안 공정에서 물질점의 변형이력을 조사하는 유선추적법은 참고문헌 [2]에 주어진다.

일단, 변형이력을 알면 다음과 같은 세가지 방법으로 미세조직의 변화를 예측할 수 있다.

- 1) 물질점의 변형이력이 관심을 두고 있는 미세조직의 변형이력과 같다고 가정을 하고 변형구배텐서를 이용하여 미세조직의 변화를 예측한다.
- 2) 물질점을 가시화하는데, 속도구배텐서(또는 변형구배텐서)를 이용하여 단위문제의 경계조건을 구하여 역학문제를 확립한다. 유선에 따른 경계조건의 변화를 적용한 유한요소해석을 수행하여 내부의 형상화된 미세조직의 크기 및 형상 변화를 예측한다 (Fig.2 참조)
- 3) 비국부적 변형(Non local deformation)의 영향을 반영하여 미세조직의 형상 및 크기를 예측하는 단위 모형 문제의 경계조건을 정립한다.

세 번째 방법은 비국부 연속체 역학(Non local continuum mechanics)에 상응하는 수치해석 기법으로 간주될 수 있다.

첫 번째 방법에 의한 미세조직의 변화 예측은 집합조직의 발전이나 결정립 형상변화 예측에는 효율적이나 시멘타이트 크기 및 형상 변화 예측에는 적합치 못하다. 펄라이트 강선의 인발에서 시멘타이트의 형상 및 크기변화를 예측하기 위하여 두 번째 방법을 적용한 결과가 Fig. 3에 보여진다. 다이 반각은 20° 이고, 50%정도 단면 감소가 이루어질 때의 시멘타이트의 형상 변화가 보여진다. 시멘타이트의 최종 형상은 초기 형상에 따라 크게 달라지나, 본 연구의 모델이 예측하는 표면 근처의 시멘타이트 형상은 실제의 실험에서 많이 관측되는 형상이다. 세 번째 방법에 의한 예측 모델의 확립 등 후속 연구가 현재 진행 중이다.

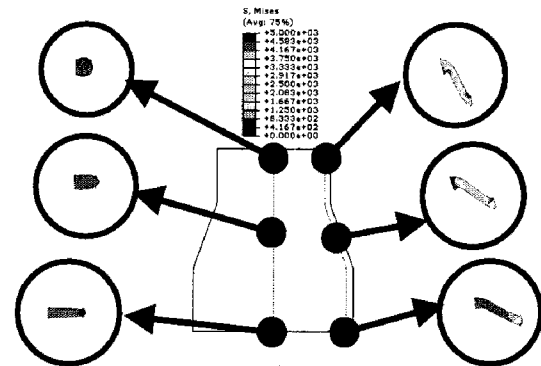


Fig. 3 Changes of the shape and size of cementite along particle paths in two pass cold drawing of pearlitic steel wire.

후 기

본 연구는 2008년도 한국과학재단의 지원을 받아 이루어졌으며 (No. R01-2008-000-20239-0), 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] K.-T Park, S.K. Cho, and J.K. Choi, 1997, Scripta Mater., vol.37 p661.
 [2] Y.S. Lee, 2005, An Eulerian Finite Element Analysis for the Steady State Rolling Processes, Materials Science Forum. vol. 479, p.3219.