

미세 Si 입자의 영향을 고려한 Al-1%Si 본딩 와이어의 신선공정해석

황원호¹, 문형준¹, 고대철², 김병민[#]

FE-Simulation on drawing process of Al-1%Si bonding wire considering influence of fine Si particle

W. H. Hwang, H. J. Moon, D. C. Ko, B. M. Kim

Abstract

This paper is concerned with the drawing process of Al-1%Si bonding wire. In this study, the finite-element model established in previous work was used to analyze the effect of various forming parameters, which included the reduction in area, the semi-die angle, the aspect ratio, the inter-particle spacing and orientation angle of the fine Si particle in drawing processes. The finite-element results gave the consolidation condition. From the results of analysis, the effects of each forming parameter were determined. It is possible to obtain the important basic data which can be guaranteed in the fracture prevention of Al-1%Si wire by using FE-Simulation.

Key Words : Al-1%Si(알루미늄 합금), Wire drawing(신선가공), Bonding wire(본딩 와이어), FEM(유한요소법)

1. 서론

본딩 속도가 빠르고 초기 설치 후 인력에 별반 의존하지 않는 반자동 및 자동 본딩 장치에는 와이어 제품의 건전성은 필수적이다.

순알루미늄은 연하고 가공경화율이 상대적으로 낮아서, 선경 0.002~0.003 인치 이하로 신선하기가 곤란하고 강도도 낮지만, 알루미늄에 실리콘을 일정량 첨가하면 전기전도성이나 초음파 본딩성을 별로 감소시키지 않으면서 알루미늄에 상당한 강도를 줄 수 있다.

Al-1%Si 선재의 인장강도 및 연성은 가공 경화된 Al 기지와 분산된 미세 Si 입자의 효과에 기인하므로, 미세 Si 입자의 분포 및 크기의 영향을 고

려하여 신선 공정 시 공정 변수들의 영향을 파악하여 적절하지 못한 공정에 의해서 발생하는 각종 신선 결함과 연성저하를 방지하는 다이스의 설계는 매우 중요하다[1].

2. 시험 및 해석 조건

2.1 연속주조 공정 시험

Al 기지 내의 미세 Si 입자는 연속주조 공정조건에 따라 일정한 분포와 크기를 가지게 된다. Fig. 1은 연속주조 공정에 의해 제작된 시험편의 조직 사진을 찍은 것이다.

Fig. 2는 연속주조 공정 조건에 의해서 Al 기지 내에 분포하는 미세 Si 입자의 세장비와 입자간

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 부산대학교 ILIC

교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

간격에 대한 값들을 보여주고 있다. 미세 Si 입자의 세장비는 0.4~0.8 이며, 입자간 간격은 18~34 μm 으로 나타났다. 미세 Si 입자는 Al-1%Si 선재의 중심부부터 표면부까지 분포한다.

2.2 유한요소해석 모델 및 조건

Al-Si 상태도에 의하면 1%Si 은 525 $^{\circ}\text{C}$ 이상 온도에서 Si 이 Al 내에 고용되어 있다가 온도가 내려감에 따라 석출이 일어나 상온에서 거의 모든 Si 가 Al 기지 내에 독립된 입자로 존재하기 때문에 Al 과 Si 은 순알루미늄과 순규소의 물성치를 사용하였다. 신선공정의 해석은 냉간으로 가정하였으며, 선재와 다이스 사이의 마찰상수는 일반적으로 건식신선 공정에서 사용되는 마찰상수인 0.1 로 가정하였다. Al-1%Si 선재의 신선공정해석 모델인 Fig. 3 는 평면변형(Plane strain) 문제로 가정하였으며, Table 1 에 나타난 신선공정 조건들을 적용하여 유한요소해석을 수행하였다[2].

3. 유한요소해석 결과

3.1 Si 입자의 세장비에 대한 영향 평가

Fig. 4 과 Fig. 5 은 세장비에 대한 위치별 Si 입자 주위의 데미지와 Al-1%Si 선재에서 Al 기지와 Si 입자의 계면에서 Al 과 Si 의 유효변형률 값의 차를 나타내었으며, 이 값을 이용하여 Al 기지와 Si 입자의 계면이 분리되는 결함의 발생 가능성 정도를 판단하였다[3]. 유효변형률 값의 차는 아래의 식으로 표현하였다.

$$\Delta \bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_{Al} - \bar{\epsilon}_{Si} \quad (1)$$

Fig. 6 과 Fig. 7 에서는 Si 입자의 세장비가 커질수록 데미지와 $\Delta \bar{\epsilon}$ 값이 감소하므로, Si 입자의 세장비가 커지면 Al-1%Si 선재의 연성저하 방지와 Al 기지 와 미세 Si 입자 사이의 계면이 분리되는 결함을 방지하는데 유리하다.

3.2 Si 의 입자간 간격에 대한 영향 평가

Fig. 6 과 Fig. 7 에서는 Si 입자의 입자간 간격이 커질수록 데미지와 $\Delta \bar{\epsilon}$ 값이 감소하므로, Si 입자의 입자간 간격이 커지면 Al-1%Si 선재의 연성저하 방지와 Al 기지와 미세 Si 입자 사이의 계면이 분리되는 결함을 방지하는데 유리함을 알 수 있다.

3.3 인발공정조건에 대한 영향 평가

Al-1%Si 선재에 대하여 인발공정조건에 대한 영향을 평가하기 위하여 Fig. 8 에서는 Si 입자의 세장비를 0.4, 단면감소율을 20%로 고정하고 다이 반각을 변수로 두고 해석을 수행하였으며, Fig. 9 에서는 Si 입자의 세장비를 0.4, 다이반각을 7 $^{\circ}$ 로 고정하고 단면감소율을 변수로 두고 해석을 수행하였다.



Fig. 1 SEM cross-section image of the specimen in longitudinal direction

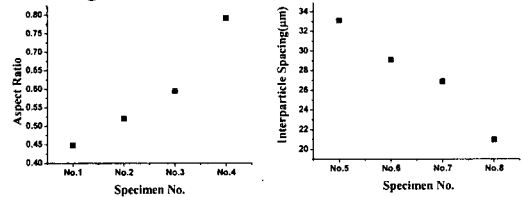


Fig. 2 Aspect ratio and interparticle spacing of the fine Si particle in the Al substrate

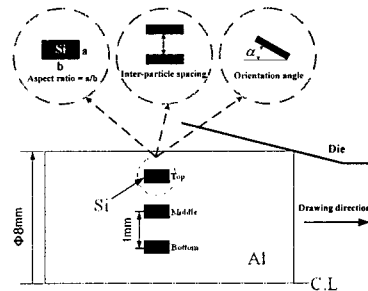


Fig. 3 Process variables and analysis model

Table 1 Drawing conditions of Al-1%Si wire

Drawing Conditions	Value
Wire diameter (mm)	8
Reduction in Area (%)	15, 20, 25
Semi-die angle ($^{\circ}$)	5, 7, 10
Aspect ratio	0.4, 0.6, 0.8
Interparticle spacing (μm)	18, 26, 34
Orientation angle ($^{\circ}$)	45, 80, 90, 100, 135

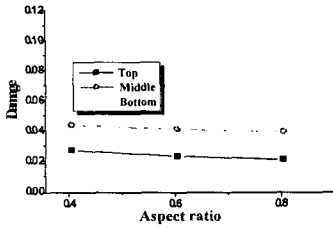


Fig. 4 Relation between aspect ratio and damage on location of fine Si particle

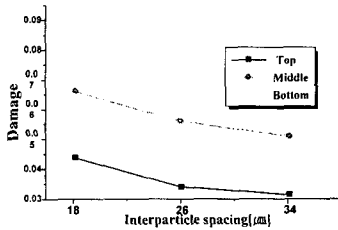


Fig. 6 Relation between aspect ratio and damage on location of fine Si particle

Fig. 8 에서는 다이반각이 커질수록 Al-1%Si 선재의 미세 Si 입자가 선재의 중심부 가까이 분포할 때 Si 입자 주위의 데미지 값이 커지므로, 다이반각이 커지면 Al-1%Si 선재의 연성저하 방지에 불리하게 된다.

Fig. 9 에서는 단면감소율이 커질수록 미세 Si 입자 주위의 데미지 값이 커지므로, 단면감소율이 커질수록 Al-1%Si 선재의 연성저하 방지에 불리하게 된다.

3.4 Si 입자의 초기 정렬각 변화

Si 입자가 초기 정렬각을 가지게 되는 경우에 대해 신선공정 시 Al-1%Si 선재의 미세 Si 입자의 초기 정렬각의 변화에 대하여 평가하기 위하여 Si 입자의 세장비를 0.4, 다이반각을 7°로 고정하고 단면감소율과 Si 입자의 초기 정렬각을 변수로 두고 해석을 수행하였다.

Si 입자의 정렬은 Al-1%Si 선재의 연성에 커다란 영향을 주는 중요한 인자 중의 하나이다[4]. 미세 Si 입자가 선재의 중심축 상에 평행하게 정렬이 되어질수록 선재의 연성을 더 좋게 해준다. Fig. 10 에서는 Al-1%Si 선재의 중심부와 표면부 사이에 존재하는 Si 입자 정렬각의 변화량이 매우 비슷한 값들로 나타나기 때문에 표면부 부근의 Si 입자의 정렬각의 변화량을 나타내었다.

Fig. 10 에서 Si 입자가 중심축에 더 평행한 초기

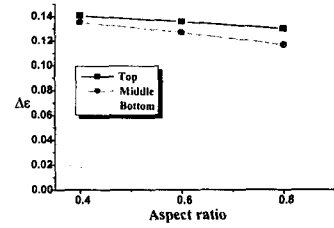


Fig. 5 Relation between aspect ratio and difference of effective strain on location of fine Si particle

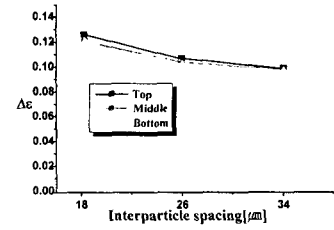


Fig. 7 Relation between aspect ratio and difference of effective strain on location of fine Si particle

정렬각을 가질수록 신선가공 시 배열이 잘 되며, Si 입자가 중심축과 수직(80°~100°)하게 정렬한 경우 배열이 잘 되지 않는다. Fig. 11 과 Fig. 12 에서 Si 입자가 100°의 초기 정렬각을 가지는 경우 연속신선공정 시 단면감소율이 15%인 경우 Si 입자가 축방향으로 잘 배열되지만, 단면감소율이 25%의 경우 연속신선공정 시 불안정한 배열 상태를 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 신선가공 시 단선 발생을 방지하고, 내부결함이 없는 건전한 제품을 얻기 위해 Al-1%Si 선재에서 나타나는 미세 Si 입자의 분포 및 크기의 영향에 대해 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 연속주조공정을 제어하여 미세 Si 입자의 세장비와 입자간 간격을 크게하면 신선가공 시 Al-1%Si 본딩 와이어의 연성저하와 AI 기지와 Si 입자 계면분리 결합발생을 억제할 수 있다.

(2) 단면감소율과 다이반각이 커질수록 미세 Si 입자 주위의 데미지 값이 커지므로, 각 패스의 공정 변수인 단면감소율과 다이반각을 비교적 작게 적용하면 Al-1%Si 본딩 와이어의 연성저하를 방지하는데 유리하다.

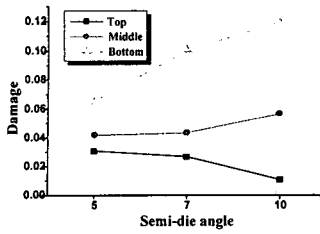


Fig. 8 Relation between semi die angle and damage on location of fine Si particle

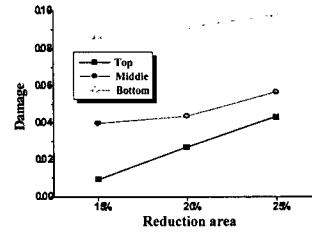


Fig. 9 Relation between reduction in area and damage on location of fine Si particle

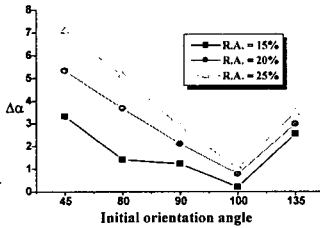


Fig. 10 Relation between initial orientation angle and difference of angle on reduction in area

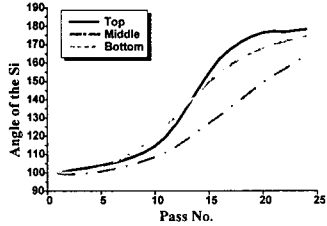


Fig. 11 Reorientation of initial orientation angle on R.A. 15% in drawing with multi-pass schedule

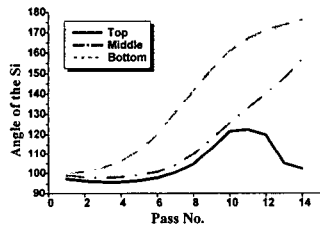


Fig. 12 Reorientation of initial orientation angle on R.A. 25% in drawing with multi-pass schedule

(3) 연속주조공정의 제어를 통하여 미세 Si 입자의 초기 정렬각을 중심축에 평행하게 나타내도록 하면, 선재의 연성을 더 좋게 할 수 있으며, 15% 단면감소율을 통하여 연속신선가공 시 미세 Si 입자의 배열이 잘 일어나도록 해주면 선재의 연성을 확보할 수 있다.

본 연구의 해석결과는 Al-1%Si 본딩 와이어의 신선가공 시 단선의 방지와 내부 결함의 발생을 방지할 수 있는 신선 공정조건을 선정하는데 도움을 줄 것이다.

후 기

본 연구는 한국산업기술재단(KOTEF)에서 지원하는 지역혁신 인력양성사업 연구과제인 “고기능, 고정도 판재성형 및 금형설계 기술개발 인력양성”(TS-32)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 임차용, 우의성, 1990, 방향성 알루미늄 합금 개발 및 재료특성 규명에 관한 연구(II), 한국기계연구원, pp.28-32.
- [2] 박동인, 김병민, 오상수, 2004, 유한요소법에 의한 Bi2223 고온 초전도 선재의 다심 인발에 대한 연구, 한국소성가공학회, Vol. 13, No. 1, pp.78-83.
- [3] D.C.Ko, B.S.Kang, B.M.Kim, J.C.Choi, 1994, A study on Prevention of General Burst Defects in Wire Drawing, The Korean society of mechanical engineering, Vol 11, pp.3098~3310.
- [4] Jan W. Pilarczyk, 1997, Hydrodynamic drawing effects on wire ASTRO characteristics, WIRE JOURNAL INTERNATIONAL, pp.70-83.