

냉간 압연 공정에 의한 두께 36 μm 동극박 제조 공정 해석

이상호¹, 김병민[#]

Fabrication of copper thin foils with 36 microns by cold rolling

S. H. Lee, B. M. Kim

Abstract

In general, by means of the electrodepositing technique, a copper foil sample was prepared with a high purity and a high density. But the mechanical properties of the electrodepositing copper foil was lower than it's the rolling copper foil. However, the production of copper foil with approximately 36 microns thick in rolling process was very difficult.

This paper describes the outline of the high accuracy cold rolling in 6 high mill which was developed for the purpose of rolling very thin accurate gauge copper foil(36 micron thick), and give several rolling characteristic of 600 mm wide copper foil.

a) Large strain can be accumulated pass by pass in industrial multi-pass rolling processing to overcome large critical strain for thickness accuracy through optimization of rolling schedule.

b) Also, permissible tension for rolling 0.45 ~ 0.036 mm thick copper strip stably in accordance with the each pass work had been established by FEM simulation results.

c) During the plate rolling process, considerable values of the forces of material pressure on the tool occur. These pressures cause the elastic deformation of the roll, thus changing the shape of the deformation region. A numerical simulation of roll deflection during cold rolling is presented in the paper.

d) The proposed pass schedule can roll very thin copper foil of 36 micron thickness to a tolerance of ± 1 microns.

The validity of simulated results was verified into rolling experiments on the copper foil.

Key Words : Cold rolling, Copper foil, Rolling schedule, FEM, Tension, Roll force, Roll deflection

1. 서 론

동박판은 FPCB(Flexible Printed Circuit Board)에서 신호 및 전기전달의 역할을 담당하는 소재이며 FIOG(Flexible Input/Output Gate)의 핵심소재 및 리튬이온 전지의 음극집전체로도 사용되고 있는 등, IT 산업과 전기 전자 부품소재 산업의 필수 및 핵심 원소재라고 할 수 있다. 그러나, 현재 전기 전자제품용 동박판은 압연동박과 전해동박이 용도 및 기능면에서 양분하고 있다.

전해동박의 경우 대부분 Rigid 기관용 도전층에

사용되고 있으며 LCD 패널 및 리튬이온전지의 집전체소재로도 사용된다. 그러나 하드디스크 및 10 μm 급 극박판에 있어서, FPCB 및 휴대폰 Hinge 부는 전량 압연동박으로 대체되고 있다. 또한 휴대용 전자기기의 시장증가, 전자기기의 고용량화, 초소형화에 따라 기계적 특성이 우수한 동박판의 수요가 급증하고 있는 추세이다.

한편, 리튬이온전지 집전체의 경우에 있어서도 36 μm 급의 박판은 전해동박이 대부분을 점유하고 있으나, 고온연신을 및 양호한 굴곡성의 요구에 따라 두께가 감소할수록 압연 동박판으로 전환되

1. 부산대학교 정밀기계공학과
교신저자: 부산대학교 기계공학부
E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

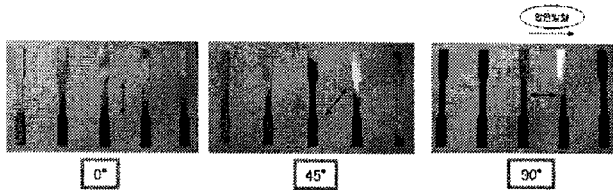
고 있는 추세이다[1~2].

따라서 본 논문에서는 폭 600mm 두께 36±1μm의 압연동박의 생산시 발생하는 판의 형상 제어 및 압연 롤의 변형 해석을 수행하였다. 그리고 압연 실험을 수행하여 검증하였다.

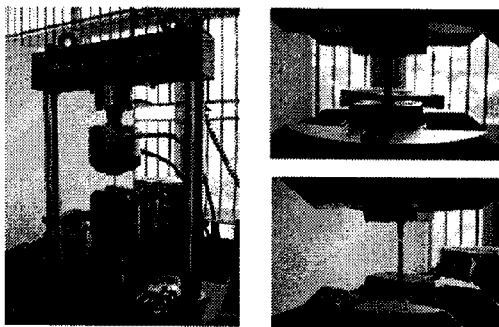
2. 해석 조건

2.1 인장시험

압연공정에 사용될 재료의 물성을 평가하기 위하여 인장 시험을 수행하였다. 인장 시편의 규격은 ASTM E80으로 두께는 0.45mm이다. Fig. 1은 시험에 사용된 시편과 장비를 나타낸다. Table 1은 시험 조건을 나타낸다.



(a) Type of specimen



(b) Tensile testing equipment

Fig. 1 Specimen and equipment for tensile test

Table 1 Tensile testing condition

Condition	Value
Material	OFC
Equipment	Instron 85
Target distance (mm)	25
Data Rate (pts/sec)	10.00
Ramp Rate (mm/min)	10.00

Table 2 Result of tensile test

n	K	$\bar{\sigma}(Mpa) = K\bar{\epsilon}^n$
0.405781	490.418	

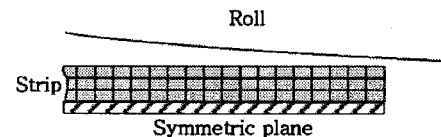
인장시험 후 얻어진 하중 및 변위 데이터를 가지고 항복응력, 극한인장응력, 가공경화지수(work-hardening exponent ; n), 강도계수 (strength coefficient ; K)를 구하여 Table 2에 나타내었다.

2.2 해석 조건

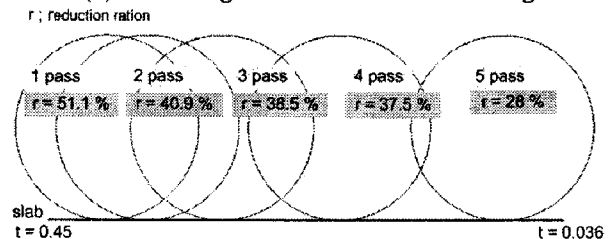
Table 3은 압연공정 조건을 나타낸다. Work roll은 Φ140×W850이며 초기 소재는 0.45t×W610의 크기를 가진다.

Table 3 Condition of rolling process

Condition	Value
Rolling type	6 High mill
Work roll size (mm)	Φ140×W850
Strip size (mm)	0.45t×W610
Strip material	OFC
Rolling speed(m/min)	100, 150, 200



(a) Modeling and mesh for cold rolling



(b) Pass schedule

Fig. 2 2D modeling and pass schedule

냉간 압연공정을 이용하여 36μm 급 동박을 생산하기 위하여 압연 해석을 상용 유한요소 코드인 ABAQUS 를 이용하여 FE-simulation 을 수행하였다. Fig. 2 는 2D 해석모델과 36μm 급 동박을 생산하기 위한 패스 스케줄을 나타낸다. Roll 은 Rigid body 로 설정하였다.

3. 해석 결과

3.1 마찰계수

동박 냉간 압연시 마찰계수는 판의 두께 및 형상 결합에 큰 영향을 미친다. 또한 압연시 발생하는 슬립(Slip)에 의한 압연 불가능한 조건을

Table 4 Load according to coefficient friction

Coefficient of friction	Load(ton)
0.012	×
0.015	69
0.02	71
0.025	74
0.03	77
0.05	90
0.1	117
0.15	131
0.2	138
0.3	148

확인하였다. Table 4는 마찰계수에 따른 압연하중을 나타내는 그림이다. 냉간 압연 공정에서 마찰계수 0.012이하의 경우 슬립에 의하여 압연이 불가능한 것으로 나타났다. 그러나 압연하중이 너무 크면 롤의 탄성변형에 의하여 판의 형상 결함을 일으킬 수 있다.

3.2 압연 속도

압연 속도는 압연하중에 영향을 끼친다. 압연속도는 총 3가지로 하여 해석을 수행하였다. Table 5는 압연속도에 따른 압연하중의 영향을 나타낸다. 압연속도가 증가할수록 롤의 변형에 영향을 끼치는 압연하중 감소하는 것으로 나타났다.

Table 5 Load according to rolling speed

Rolling speed(m/min)	Load(ton)
100	75.192
150	74.118
200	71.45

Table 6 Load according to tension

Front tension(kg)	Back tension(kg)	Load(ton)
0	0	82
100	100	70
100	0	80
0	100	71
145.3	0	80
0	50	77
145.3.	50	75

3.3 전후방 장력

Table 6은 장력에 따른 압연하중의 영향을 나타낸다. 결과에서 보여지듯이 전방 장력은 압연하중에 큰 영향을 주지 못하나 후방 장력은 증가함에 따라 압연 하중이 감소한다. 따라서 후방장력이 압연 하중의 감소에 영향이 큰 것으로 판단된다.

4. 등극박 압연 생산

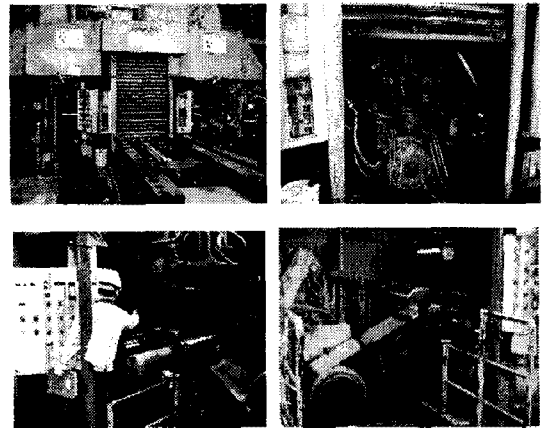


Fig. 3 Rolling mill for cold rolling

Fig. 3은 작업에 사용된 압연기를 나타내는 그림이다. 압연기 타입은 6High-mill이다. 압연공정 조건은 작업자의 경험을 토대로 설정하였다. Table 7은 적용된 공정조건 및 패스별 하중을 나타낸다. 초기판재의 두께는 0.45t로 총압하중 92%로 최종 36 μ m까지 압연한다. 1pass에서의 압연결과에 의하여 본 실험에서의 마찰계수는 Table 3의 결과에서 0.025를 가지는 것으로 판단된다.

Table 7 Result of cold rolling experiment

t (mm)	Front tension(kg)	Back tension(kg)	Speed (m/min)	Load (ton)
0.45	-	-	-	-
0.22	1957	1382	150	74
0.13	943	677	150	74
0.08	660	375	150	74
0.05	250	120	101	80
0.036	200	100	150	60

압연 후 판의 두께를 측정된 결과 최종패스 이후의 판의 두께는 목표 두께 36 μ m보다 약 1.5 μ m 정도 두꺼운 37.5 μ m로 나타났다. 이는 얇은 판의

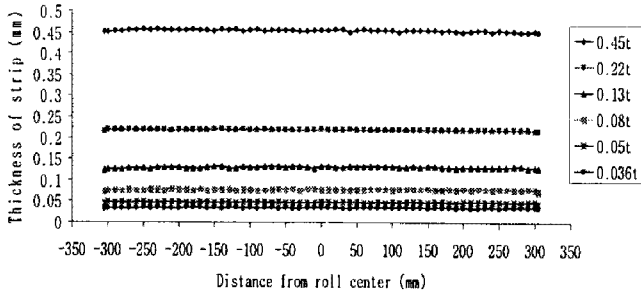


Fig. 4 Thickness profile to width direction

압연 시 발생하는 압연하중에 의한 롤 크라운에 의한 것으로 판단된다. 따라서 압연하중을 감소시킬 수 있는 압연 공정 설계가 필요하다.

5. 패스스케줄 재설계

극박판의 냉간압연공정에 있어서 롤의 변형은 판의 두께에 얇기 때문에 그 영향은 매우 크다. 따라서 발생하는 압연하중의 감소는 판의 형상에 영향이 크다고 할 수 있다. 냉간압연 공정에서 발생하는 압연하중의 분포를 압연롤에 적용하여 롤의 변형해석을 수행하였다.

최종패스에서의 압연하중 60ton에서 롤의 변형은 약 1.5 μ m 높게 나타났다. 그러나 해석을 통하여

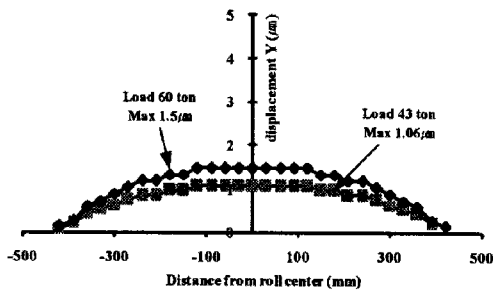


Fig. 5 Result of roll crown

하중이 약 43ton이하를 가질 때 롤 변형은 1 μ m로 나타날 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 5).

CAE해석을 통하여 장력, 속도, 압하율을 설정하고 이에 따른 압연하중을 Table 8에서 나타내었다.

Fig. 6은 재설계된 패스스케줄의 판의 두께를 나타낸다. 36.4 μ m의 최종 제품을 생산할 수 있었다.

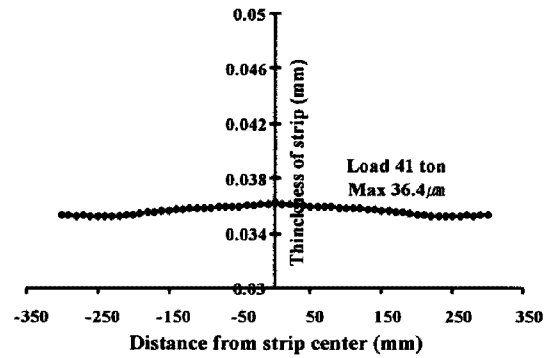


Fig. 6 Thickness of strip to redesigned pass schedule

6. 결론

냉간압연공정으로 CAE 및 압연 실험을 이용하여 36 μ m급 동극박판을 생산하였다.

(1) 마찰계수가 증가할수록 압연하중이 증가하였고 압연속도가 증가할수록 압연하중이 감소하였다. 또한 후방장력은 압연하중에 큰 영향을 준다.

(2) 압연실험을 통하여 기존의 패스스케줄에 의하여 두께 37.5 μ m의 동극박을 생산하였다.

(3) CAE를 통하여 패스스케줄을 재설계하여 두께 36.4 μ m의 동극박을 생산하였다.

후기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터 산업(R15-2006-022-03003-0) 지원으로 수행하였음.

참고문헌

- [1] T. Furukawa, K. Kawamoto, 1963, The rolling characteristic of Copper Foil, JSTP, Vol. 4, No. 27, pp. 203~212
- [2] 이상호, 김동환, 변상민, 박해두, 김병민, 2005, 열간 압연에서 2단 사이징 프레스 금형에 의한 슬래브의 변형거동 예측, 한국소성가공학회, 제14권, 제9호, pp.791-797

Table 8 Redesigned pass schedule

t (mm)	Front tension(kg)	Back tension(kg)	Speed (m/min)	Load (ton)
0.45	-	-	-	-
0.22	1931	1359	150	74
0.12	921	724	150	91
0.07	623	328	150	85
0.042	211	107	150	72
0.036	197	83	150	41