

# 두께 18 μm 동극박 냉간 압연 공정에서 를 변형에 따른 패스스케줄 설계 Design of Rolling Pass Schedule According to Roll deflection in cold rolling process by Thick 18 μm Copper foil

\*이상호<sup>1</sup>, 김동환<sup>2</sup>, 황인엽<sup>3</sup>, 옥순영<sup>3</sup>, 김대현<sup>3</sup>, 황원제<sup>3</sup>, #김병민<sup>4</sup>

\*S. H. Lee<sup>1</sup>, D. H. Kim<sup>2</sup>, I. Y. Hwang<sup>3</sup>, S. Y. Ok<sup>3</sup>, D. H. Kim<sup>3</sup>, W. J. Hwang<sup>3</sup>, #B. M. Kim<sup>4</sup>(bmkim@pusan.ac.kr)

<sup>1</sup> 부산대학교 정밀가공시스템, <sup>2</sup> 한국국제대학교 자동차공학부, <sup>3</sup> (주)풍산 온산공장 연구개발팀, <sup>4</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : Cold rolling, Rolling schedule, Copper foil, Roll deflection, 6Hi UC-mill, FPCB

## 1. 서론

FPCB는 각종 전자 제품의 전자기기의 신호 및 전기전달의 역할을 담당하는 소재로 구리 박판을 주로 사용한다. IT 산업과 전기 전자 부품소재 산업의 필수 및 핵심 원소재라고 할 수 있다.

리튬이온전지 집전체의 경우에 있어서도 동박판은 전해동박이 대부분을 점유하고 있으나, 고온연신을 및 양호한 굴곡성의 요구에 따라 두께가 감소할수록 압연 동박판으로 전환되고 있는 추세이다. 그러나 압연 동극박의 경우 대부분 일본에서 수입하고 있는 실정이며, 일부 국내에서 생산되고 있는 제품 또한 품질면에서 떨어져 고품질의 압연 동극박의 국내 생산이 시급하다.<sup>1,2</sup>

따라서 본 논문에서는 폭 600mm 이상 두께 18±1 μm 급의 압연 동박의 품질을 향상 시키기 위하여 압연 공정시 6단 압연기 압연 롤의 탄성 변형을 CAE를 통하여 예측하여 동극박의 폭 방향 판 현상 결함을 줄일 수 있는 공정 조건을 제시하였다. 그리고 설정된 공정 조건에 따라서 냉간 압연시험 생산을 수행하였다.

## 2. 냉간 동극박 압연 공정 해석

Fig. 1은 인장시험을 통하여 극박압연에 사용된 소재의 소성 물성치를 나타낸다. 사용된 압연소재는 밀도 8.89g/cc, 탄성계수(E) 115GPa, 프아송비(ν) 0.31의 특성을 가지는 OFC를 사용하였다.

Fig. 2는 냉간압연공정에 사용된 장비 및 해석 모델을 보여주는 그림이다. 사용된 장비는 6단 수직압연기를 사용하였으며, 압연타입은 리버스 타입(Reverse type)으로 좌우로 일이 번갈아 압연되는 방식을 취한다. CAE에 사용된

압연롤의 소재는 SKH51을 사용하였으며, 워크롤(WR), 중간롤(IMR), 백업롤(BUR)이 각 한 쌍이 위아래로 설치되어 있는 대칭형 형상인 것을 고려하여 상부만 모델링하여 사용하였다.<sup>3</sup>

Table 1은 기존의 동극박압연 패스스케줄을 나타낸다. 총 3패스로 압연이 진행되며, 전후방장력의 경우 최소 300kgf로 설정할 수 있다.

Fig. 3은 Table 1에서 나타난 패스스케줄로 CAE를 수행한 결과, 제품에 가장 큰 영향을 미치는 최종 패스(3pass)에서의 WR의 출구부 두께방향 굽힘량을 나타낸 결과이다. 이와 같은 압연롤의 변형에 의한 폭 중심이 불룩하게 변형하는 것을 크라운(Crown)이라고 한다. 압연롤 폭 중심에서의 최대 변형은 1.8 μm이 발생하고 판의 탄성회복량은 0.15 μm로 나타났다. 따라서 롤 갭이 17 μm인 것을 판단해볼 때 최종판의 두께는 18.95 μm=18±1 μm를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 최종패스에서의 장력을 두께에 비하여 너무 크게 설정하였으며, 해석결과에서 나타난 것처럼 두께 공차에 매우 근접한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 Table 1에 제시한 압연 패스스케줄을 가지고 압연 시험을 수행하고 각 패스별 두께를 측정된 결과이다. CAE 해석결과와 유사한 결과를 가지는 것으로 나타났다.

Table 1 Existing rolling pass schedule (3pass)

| Pass | Thickness(mm) |       | Tension(kgf) |       | V (m/min) | Load (ton) |
|------|---------------|-------|--------------|-------|-----------|------------|
|      | Before        | After | Back         | Front |           |            |
| 1    | 0.125         | 0.055 | 300          | 450   | 200       | 72         |
| 2    | 0.055         | 0.03  | 300          | 350   |           | 82         |
| 3    | 0.03          | 0.017 | 300          | 320   |           | 229        |

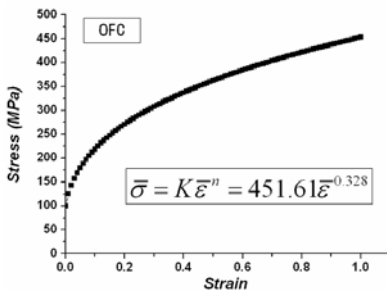


Fig. 1 Strain stress curve (OFC)

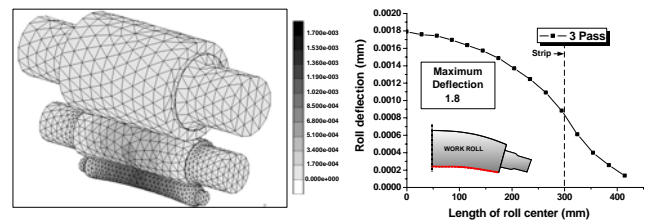
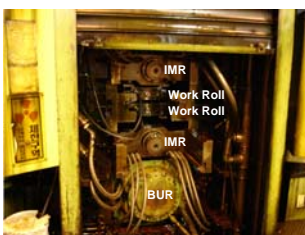
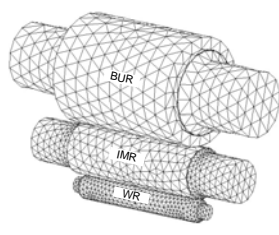


Fig. 3 Roll deflection in 3pass rolling process



(a) 6Hi UC-mill



(b) CAE model

Fig. 2 Cold rolling equipment and CAE model

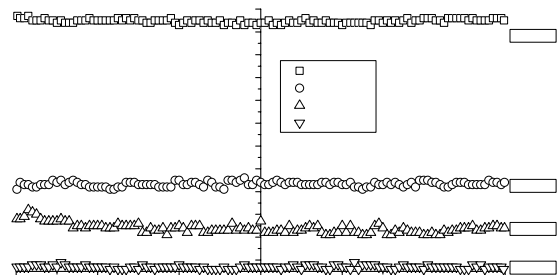


Fig. 4 Distribution of thickness after test rolling of existing rolling pass schedule (3pass)

### 3. 압연 패스스케줄 재설계

기존의 패스스케줄에서 최종 패스 압연시 절판이 다수 발생하였으며, 과도한 장력으로 인하여 판 웨이브가 발생하는 것을 압연시험을 통하여 확인하였다. 따라서 압연 패스스케줄을 조정하고 압연기의 장력설정이 300kgf 이하가 가능하도록 설비를 조정하였다.<sup>4</sup> 그리고 또한 Bender 를 조정하여 압연롤의 변형을 조절하였다.

Table 2 는 기존이 패스스케줄의 CAE 해석 및 압연 시험의 결과를 토대로 재설계된 압연 패스스케줄을 나타낸다. 총 패스는 4 패스로 늘려 패스당 압하율을 효과적으로 분산시켰으며, 압연장력의 경우 300kgf 이하로 설정하였다. 또한 Bender 를 이용하여 극박압연시 롤의 변형을 제어하였다.

Fig. 6 은 재설계된 압연 패스스케줄의 최종패스(4pass)에서의 WR 의 출구부의 두께방향 변형 분포를 나타낸다. 재설계된 패스스케줄의 폭 방향 중심에서의 판 두께 분포는 롤갭(17 μm)+롤 크라운(0.8 μm)+탄성회복량(0.24 μm) = 18.04 μm

Table 2 Redesigned rolling pass schedule(4pass)

| Pass | Thickness(mm) |       | Tension(kgf) |       | V (m/min) | Load (ton) | Bender(kgf) |     |
|------|---------------|-------|--------------|-------|-----------|------------|-------------|-----|
|      | Before        | After | Back         | Front |           |            | WR          | IMR |
| 1    | 0.130         | 0.060 | 300          | 350   | 200       | 43         | -93         | 74  |
| 2    | 0.060         | 0.036 | 220          | 250   |           | 44         | -99         | 8   |
| 3    | 0.036         | 0.024 | 100          | 120   |           | 62         | -101        | 5   |
| 4    | 0.024         | 0.017 | 80           | 100   |           | 192        | -138        | 2   |

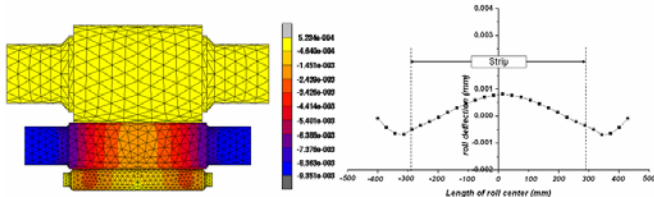


Fig. 5 Roll deflection in 4pass of redesigned rolling process

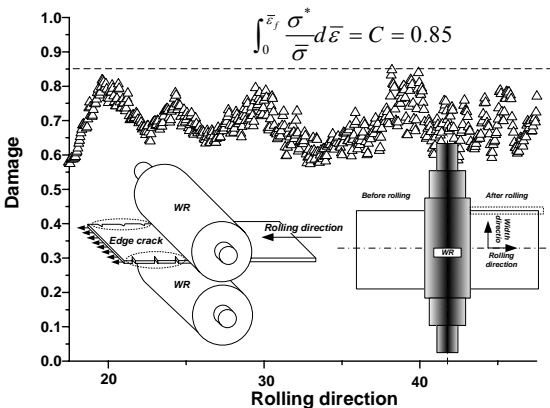


Fig. 6 Distribution of damage after 4pass rolling process

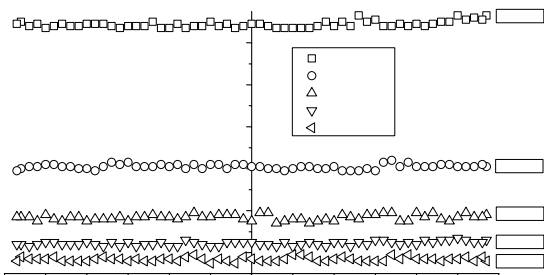


Fig. 7 Distribution of thickness after test rolling of redesigned rolling pass schedule (4pass)

=18±1 μm로 판 두께 공차를 기존의 패스스케줄보다 더욱 양호한 분포를 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 6 은 4pass 압연후 판의 절판 여부를 간접적으로 판단하기 위하여 압연시 발생하는 유효응력(σ)값을 이용하여 연성과괴괴값을 구하고, 절판 여부를 판단하였다. 연성과괴괴식은 Cockroft & Latham 의 식을 사용하였으며, 압하율별 압연시험을 통하여 Critical damage(C)값을 구하여 압연시 판 파단 여부를 판단하였다.

압연시험을 통하여 얻어진 C 는 0.85 로 나타났다. 따라서 극박압연시 판 끝단부의 Damage 값이 0.85 이하의 분포를 가지는 것이 절판의 위험이 적다고 할 수 있다. Fig. 6 의 결과를 보면 전체적으로 0.85 에 미치는 못하는 것으로 나타나 절판의 위험이 적다고 판단할 수 있다.

Fig. 7 은 재설계된 패스스케줄을 이용하여 압연 시험을 하고 난 이후의 각 패스별 두께분포를 나타내는 그림이다. 4pass 에서 압연판의 두께 분포를 살펴보면 평균 17.8 μm로 거의 CAE 해석과 유사한 것으로 나타났다.

### 4. 결론

본 연구에서는 CAE 를 통하여 냉간압연시 6 단압연롤의 탄성 변형의 크기를 구하고 극박 냉간압연에서 발생하는 판 형상 결함을 줄이기 위해 패스스케줄을 재설계하였다.

(1) 기존의 압연패스스케줄을 CAE 를 통하여 압연롤의 탄성 변형을 예측하고 크기를 측정하였으며, 이에 따른 판의 두께를 롤갭, 압연롤 탄성변형, 판 탄성회복을 통하여 예측하였다. 이후 압연시험을 통하여 검증한 결과, 판 두께 18.95 μm로 기준 공차를 만족하지만 압연시 판 절판 및 두께 공차를 줄이기 위하여 패스스케줄의 재설계가 필요함을 확인하였다.

(2) 극박압연 패스수를 3pass 에서 4pass 로 늘려 압하율을 분산시켰으며, 전후방장력을 조절하였다. 그 결과 판두께는 18.04 μm로 매우 양호한 값이 나왔으며, 절판의 위험을 간접적으로 예측하기 위하여 C 를 구하여 압연시 판 끝단부에 발생하는 Damage 값과 비교한 결과, 매우 근접한 결과를 가지지만 C 값 이하의 분포를 보여 절판의 위험은 적은 것으로 나타났다.

(3) 최종 설계된 극박압연 패스스케줄을 이용하여 압연 시험을 수행한 결과, 최종 패스에서의 판 두께는 17.8 μm로 기준공차를 만족하는 것으로 나타났으며, 판 절판 또한 발생하지 않았다. 따라서 극박 압연시 CAE 를 통하여 압연롤의 탄성변형에 따른 패스스케줄을 설정하여 적용한 결과, 두께 18 μm OFC 압연판을 생산하였다.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 2007 년도 산업혁신기술개발사업 중 “중기거점기술개발사업”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. T. Furukawa, K. Kawamoto, 1963, The rolling characteristics of Copper Foil, JSPT, Vol. 4, No. 27, pp. 203-212
2. N. Sakamoto, K. Nishimura, M. Iwasaki, K. Misonoh, 1982, An analysis of strip shape in cold rolling of ultra thin steel strip, JSPT, Vol. 23, no. 263, pp.1230~1237
3. M. Knapiński, 2005, The numerical analysis of roll deflection during plate rolling, JMPT, Vol. 175, Issue 1-3, pp. 257-265
4. 백남주, 김진옥, 박해두, 조용이, 김희송, “박판 냉간압연 공정에 있어서의 압연하중 예측모델에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제 7 권 4 호, pp. 140~148, 1990