

# 냉간 박판압연공정에서 공정변수가 엣지 크랙 성장에 미치는 영향

CUIXIANGZI<sup>1</sup> · 이상호<sup>1</sup> · 이성진<sup>2</sup> · 이종빈<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## Effect of process parameters on propagation of edge crack in the cold rolling

X. Z. Cui, S. H. Lee, S. J. Lee, J. B. Lee, B. M. Kim

### Abstract

Edge cracks in cold rolling always influence to the quality of productions, while the "V" shaped cracks were propagated by passing the roll gap. We set up the sizes and shapes of initial cracks in simulation according to the references from real productions. Different to in hot rolling, the cracks in cold rolling couldn't be reduced from propagation automatically after generated, even if these could be reduced by changing the process parameters. In this paper, we described the affections of process parameters on the propagation of edge cracks, such as reduction ratio and tension. We predicted that the dependence of the cracks propagations of changing of process conditions and expected to gain the smaller edge cracks. By raising the reduction ratio, the cracks were propagated increasingly in both transverse and rolling directions. And as tension raise, the cracks became propagated in both directions in which transverse direction was less effectively.

**Key Words** : Edge crack; Cold rolling; Tension; Reduction ration; FE-simulation

### 1. 서론

최근 철강산업의 대량생산으로 인해 생산비 절감과 생산율 제고 추세에 대응하기 위해 최대한 결함발생을 제어하려고 한다. 냉간 박판압연공정에서 주로 나타나는 결함 중 엣지 크랙은 판의 품질에도 영향을 줄뿐더러 작업과정에서 판의 절판으로 이어져 조업시간의 상승을 가져오며 생산율을 떨어뜨린다. 또한 크랙의 크기가 크면 폭의 정밀도에 영향을 주며 소재의 낭비도 적지 않다. 현재 냉간압연에서 크랙에 대해 완전히 제어하기는 어려운 상황이다.[1]

냉간 박판압연공정에서 발생한 크랙은 후판에서 발생한 크랙과 다르다. 후판에서 발생한 크랙은 주조 시 발생한 공공, 혹은 개재물에 의해 발생하게 된다. 또 재결정으로 인해 결정립의 조대화로 계면을 따라 크랙이 발생하게 된다. 그러나

냉간 박판압연에서 크랙은 판의 연성감소, 엣지 응력 불균형 등 원인으로 발생하게 된다 [2-3]. 이런 크랙은 엣지부의 압축 및 인장응력에 의해 진전을 하게 된다. 열간압연에서 발생한 크랙은 재결정으로 인해 감소할 수 있으나 냉간압연에서 발생한 크랙은 제거할 수는 없지만 전파 및 진전을 줄일 수 있다.

열간압연에서 슬래브 표면 혹은 슬래브 내부에 발생하는 크랙에 대해 압하율, 마찰, 크랙의 크기 등 조건이 크랙의 진전에 대한 영향을 연구하였다. 또 개재물로 인해 발생한 크랙의 진전에 대해서도 연구하였다[4-6]. 하지만 박판에서 엣지 크랙에 대한 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 실공정에서 발생한 크랙의 크기와 형상을 해석에 적용하였고 해석과 실험결과를 비교하였다. 따라서 압하율, 장력 등 공정변수가 엣지 크랙의 진전에 대한 영향을 파악하고자 한다.

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템

2. POSCO 기술연구소

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부, [bmkim@pusan.ac.kr](mailto:bmkim@pusan.ac.kr)

## 2. 해석방법

초기 두께가 2.3mm 인 일반규소강판인 소재를 1 패스에서 1.438mm 로 압연을 하였을 때 엣지부에 Fig. 1 에서와 같이 “V”형 모양의 크랙이 나타났으며 크랙은 일정한 간격을 두고 반복적으로 나타났다. 냉간압연에서 박판인 소재는 압연롤에 의하여 소성변형을 가하면서 엣지부의 연성이 작아지고 Damage 가 연성파괴값에 도달하면 크랙이 발생하게 된다. 발생한 크랙은 압연과정에서 롤 갭을 통과하면서 인장응력, 변형불균형 등 원인에 의해 진전하게 된다.

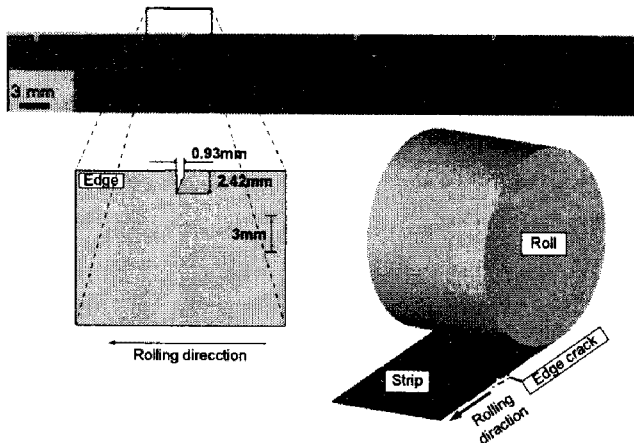


Fig. 1 Generation of edge crack in cold rolling  
And FE-simulation model

Fig. 1 에서와 같이 실공정에서 발생하는 크랙의 크기와 형상을 참고하여 해석모델을 설정하였다. 해석의 편의를 위해 1/4 모델로 해석을 진행하였다. 해석을 수행하기 위한 소재의 변형저항식은 식(1)과 같다.

$$\sigma = 985.905(0.001 + \epsilon)^{0.113} \quad (1)$$

소재의 푸아송비는 0.3 이고 탄성계수는 210MPa 이다. 롤의 직경은 400mm 이고 롤 길이는 1200mm 이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 실험결과와의 비교

해석의 타당성을 검증하기 위하여 크랙의 진전에 대한 실험을 수행하고 CAE 해석결과를 비교하

였다. 실험에서는 1 패스에서 발생한 크랙에 대해 Table 1 에 나타난 패스스케줄로 실시하였다. 소재는 Plasticine 재료로서 이 재료는 유동 특성이 강과 매우 유사하여 본 실험에서 사용하였다[7]. 판 폭은 100mm 이고 롤 속도는 71.35m/min, 마찰계수는 0.03 로 설정하였다. 실험에서 사용한 Plasticine 의 변형저항식은 식(2)와 같다.

$$\bar{\sigma} = 0.224\epsilon^{0.117} \quad (2)$$

초기크랙의 크기는 압연 방향과 폭 방향에서 각각 1mm, 2.5mm 이다. 강소성유한요소법을 이용한 DEFORM 3D 를 사용하여 실험과 동일한 조건에서 공정해석을 실시하였다.

Table 1 Rolling pass schedule

Case		1	2
Thickness (mm)	Initial	1.32	1.386
	Final	0.776	0.819
Reduction ratio (%)		41.2	40.1

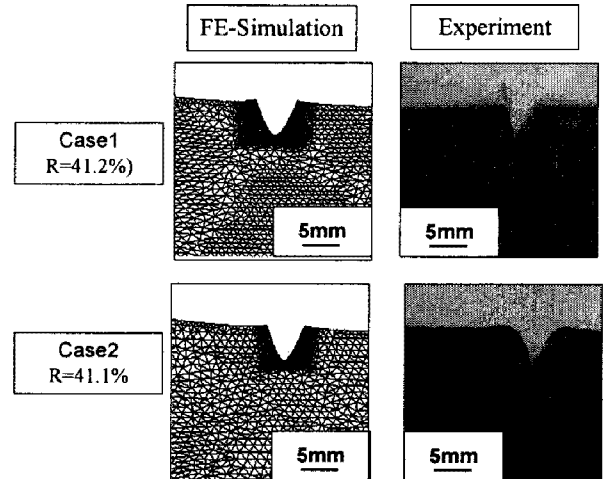


Fig. 2 Comparison with FE-simulation and  
experiment

실험과 해석의 결과를 Fig. 2 로 비교하였으며 두 결과는 매우 유사함을 확인할 수 있다.

### 3.2 압하율의 영향

압하율이 크랙의 진전에 대한 영향을 알아보았다. 해석모델은 Fig. 1 에서와 같으며 크랙의 크기

는 압연 방향과 폭 방향에서 각각 1mm, 2.5mm 로 설정하였다. 해석에서 사용한 롤 속도는 71.35 m/min 이고 마찰계수는 0.03 이다. 1 패스에서 발생한 크랙에 대해 2 패스에서 두께가 1.438mm 에서 3 가지 압하율에 의해 압연하였다. Fig. 3 는 압하율 변화에 따른 크랙의 크기를 나타낸 그림이다. Fig. 4 에서는 진전량과 진전율로 압하율이 크랙의 진전에 대한 영향을 분석하였다.

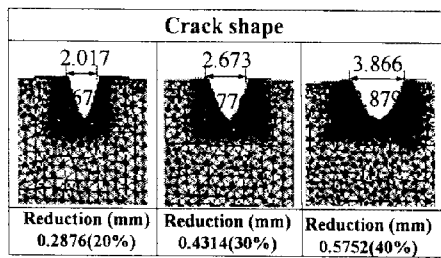
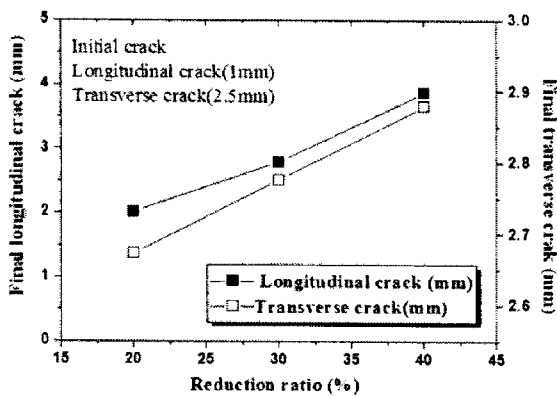
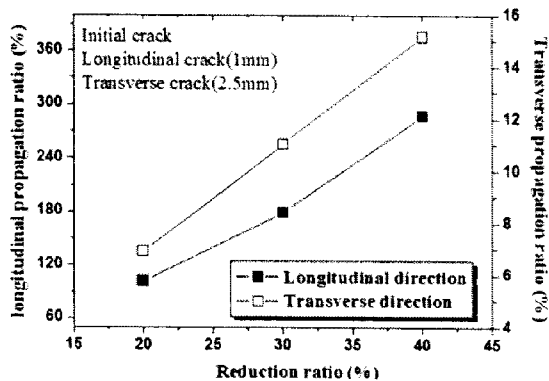


Fig. 3 Variation of crack length according to reduction ratio



(a) Final crack size



(b) Crack propagation ratio

Fig. 4 Crack length and propagation ratio after cold rolling process

Fig. 4(a)에서는 압하율이 클수록 압연 방향과 폭 방향에서 진전하는 양이 비례한다는 것을 알 수 있다. Fig. 4 (b)에서 압하율이 클수록 크랙의 진전율은 증가하는 것을 알 수 있다. 크랙은 압하율이 증가하면서 압연 방향에서 폭 방향보다 더 많이 진전을 하였고 진전율 또한 더 크다는 것을 알 수 있다. 압하율이 증가하면 소재의 변형율은 커지므로 크랙은 더 많이 진전을 하게 된다. 압연 방향에서 폭 방향보다 변형율이 크므로 압연 방향에서 진전율은 크다.

### 3.3 장력의 영향

장력은 냉간압연에서 중요한 공정변수중의 하나다. 사용한 롤과 소재의 물성치는 모두 같다. Table 2 에서와 같이 전방장력과 후방장력을 변화시켜 장력의 변화에 따른 크랙의 진전에 대해 분석하였다.

Table 2 Condition of tension in cold rolling process

Case		1	2	3	4	5
Tension (ton)	Back	1.5	1.59	1.67	1.75	1.84
	Front	1.28	1.35	1.42	1.49	1.56

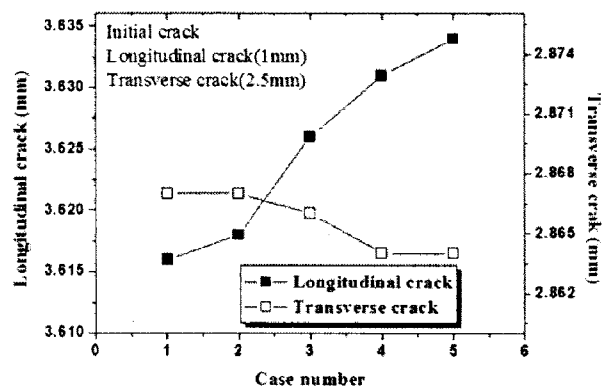


Fig. 5 Longitudinal crack and transverse crack affected by tension

Fig. 5 는 압연 방향과 폭 방향에서 크랙의 진전을 나타낸 그림이다. Fig. 5(a)에서는 장력이 증가할 때 압연 방향과 폭 방향에서 크랙의 진전을 나타냈다. 압연 방향에서 크랙은 장력이 증가하면서 커지고 폭 방향에서 크랙은 진전을 하지만 진전량은 점점 작아지는 경향을 보였다. Fig. 6 에서는 장력변화에 따른 크랙의 크기와 형상을 나타냈다.

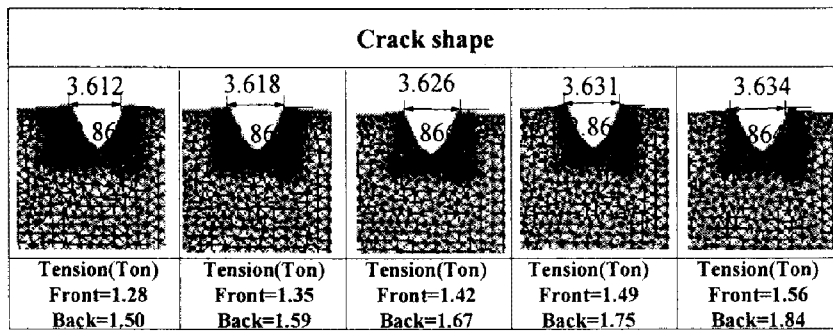


Fig. 6 Shape of final crack

크랙은 압연 방향에서 폭 방향보다 크랙이 더 많이 진전하였고 따라서 압연 방향에서 폭 방향보다 장력의 영향을 더 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 냉간압연에서 롤과 소재 사이의 마찰력으로 인해 소재는 폭 방향에서 압연 방향보다 유동이 훨씬 작고 압연 방향에서 유동은 비교적 크다. 따라서 장력이 증가할 때 압연 방향에서 폭 방향보다 변형을 크게 하기에 더 많이 진전하게 된다. 앞으로 전방장력, 후방장력 단독으로 크랙의 진전에 대한 영향을 연구하려 한다.

## 5. 결론

냉간압연에서 발생한 엣지 크랙은 공정조건의 영향을 받아 작게 혹은 크게 진전을 하게 된다. 공정조건이 크랙진전에 대한 영향을 알아보기 위해 유한요소해석과 실험을 수행하고 그 결과를 비교 분석하였다. 연구내용은 다음과 같다.

(1) 압하율이 증가함에 따라서 폭 방향 및 압연 방향으로 크랙의 진전량은 증가한다. 압하율이 증가하면서 엣지부의 변형이 더 커지고 크랙은 더 성장하게 되며 압연 방향에서 변형율은 폭 방향에서 변형율보다 크므로 압연 방향에서 더 많이 진전을 하게 된다.

(2) 전후방장력이 커지면서 압연 방향과 폭 방향에서 모두 진전을 하였다. 하지만 폭 방향보다 압연 방향에서 훨씬 많이 진전을 하였다. 장력이 증가하면서 폭 방향에서 진전량은 미소하게 작아지는 경향을 보였다. 폭 방향보다 압연 방향에 대한 장력의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 POSCO 석좌교수 연구지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Takashi Ishikawa, Nobuki Yukawa, Yoshinori Yoshida, Yuhi Tonohata, 2003, Deformation analysis of surface defect on plate rolling, ISIJ, Vol.89, No. 11, pp.50~57
- [2] Nobuki Yukawa, Takashi Ishikawa, Yoshinori Yoshida, Akira Koyachi, 2005, Influence of rolling condition on deformation of surface micro-defect in plate rolling, ISIJ, Vol.91, No. 12, pp.15~21.
- [3] J. A. Schey, 1966, Prevention of Edge Cracking in Rolling by Means of Edge Restraint, Journal of The Institute of Metals, Vol.94, pp.193~200
- [4] Nobuki Yukawa, Yoshinori Yoshida, Takashi Ishikawa, 2006, Deformation analysis of longitudinal surface micro-defects in flat rolling, ISIJ, Vol.92, No. 11, pp.19~24.
- [5] YU. Hai-liang, LIU Xiang-hua, Li Chang-sheng, Y. Kusaba, 2006, Behavior of transversal crack on slab corner during V-H rolling process, Journal of iron and steel research international, Vol. 13, No.6, pp. 31~37.
- [6] Hai-liang YU, Xiang-hua Liu, Hong-yun Bi, Li-qing Chen, 2009, Deformation behavior of inclusions in stainless steel strips during multi-pass cold rolling, Journal of materials processing technology, Vol.209, pp.455~461.
- [7] B.S. Shin, D. S. Choi, E. S, D. J. Lee, J. H. Lee, 2000, The Manufacturing Technique of Metal Rapid Products by the Ming Process, KSPE, pp.759-762.