

## 열연강판의 절단특성에 미치는 초음파진동의 영향

송길호\* · 김기원\* · 박해두\*

### Effect of Ultrasonic Vibration on Cutting Characteristics of Hot Rolled Strip

K. H. Song, K. W. Kim and H. D. Park

#### Abstract

When hot strip is trimmed in the side trimming process at the entry side of tandem cold rolling mill, due to bad quality of trimming face and burr, product quality(saw ear) becomes so bad that it causes drop of yield and claim from customers. Therefore, it was examined that applying ultrasonic vibration is an effective method to improve quality of strip trimming face and decrease burr magnitude by decreasing shear force acting between strip trimming face and knife in side trimming process of cold rolling.

**Key Words** : Side Trimming , Ultrasonic Vibration , Burr, Knife, Trimming face

#### 1. 서론

냉간압연전 압연 소재인 열연강판의 양 에지부를 일정량 절단하여 부정확한 열연강판의 폭을 수요가 요구 폭으로 맞추고 에지부에 존재하는 각종 결함을 압연전에 사전 제거함으로써 에지크랙등에 의한 판파단을 방지할 목적으로 side trimming 을 실시하고 있다. 이와 같은 공정에서 trimming 된 절단면의 상태는 냉간압연후 발생하는 톱귀와 같

은 품질불량의 발생뿐만 아니라 side trimmer 출측 롤들의 손상에 의한 maintenance 비용의 증가, 스트립 centering 제어장치에 의한 스트립 사행제어의 부정확으로 인한 설비사고, 압연기 작업을 미세 크랙 발생에 의한 롤 원단위 증가 및 표면품질 저하초래와 폭 역전압연 불가의 한 원인등으로 작용하고 있다. 따라서 연속 압연 공정에서의 trimming 시 절단면의 상태를 양호하게 유지하는 것은 상당히 중요한 의미를 가진다. 이러한 양호한 절단면을 얻기 위해

\* POSCO 기술연구소 계측제어연구그룹  
광양계측제어연구팀

trimming의 가장 기본적인 요건인 gap(상,하부 나이프 간격)과 lap(상,하부 나이프의 겹치는 양)을 소재 두께 및 강종에 따라 정확히 설정하는 것 이외에 cutting 부 나이프의 단면 형상을 변경하여 절단시 나이프 측과 절단소재 간의 전단력을 감소 시킴으로써 절단면 상태 및 버의 길이를 감소시키고자 하는 방법<sup>(1)</sup>과 상부 나이프 하부에 push up roll 을 설치하여 절단 시 절단 소재에 작용하는 상,하부 나이프 힘의 불균형을 보완하여 양호한 절단면 상태를 얻고자 하는 방법<sup>(2)</sup>들이 보고되고 있다. 하지만 상기 방법 중 첫번째 방법은 나이프 단면 형상 가공상의 어려움 및 나이프 특정부위의 응력집중 등으로 인한 조기마모 등의 문제가 있고 두 번째 방법은 cutting 시 작용하는 기본 전단력에는 전혀 변화를 주지 못함으로써 효과가 반감되는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 타 분야 적용사례<sup>(3-5)</sup>들을 참고로 하여 trimming 시 나이프에 초음파 진동(15-25kHz)을 인가하여 소재와 나이프간 전단력을 감소시킴으로써 2 차 전단변형 발생 방지 및 나이프 모서리부 응력집중의 용이 등을 통해 양호한 절단면 형태 확보와 버 발생 감소 가능성에 대해 검토해 보고자 하였다.

## 2. 실험장치의 구성

### 2.1 사이드트리머 시뮬레이터

실제 현장에서 사용되는 사이드트리머는 스트립이 이송되고 나이프는 스트립의 이송력에 의해 아이들(idle)회전하는 형태지만 시뮬레이터는 공간 및 cutting 소재인 열연판의 특성(특히 두께)상 cutting 소재인 스트립이 고정되고 나이프를 포함하는 블록부가 이송하면서 절단하도록 구성하였다. Fig. 1 에 사이드트리머 시뮬레이터의 구성에 대해 나타내었다.

#### 2.1.1 스펀들 및 나이프부

나이프가 장착되어 cutting 시 부하를 받으면서 회전을 하게 되는 스펀들은 현장에서 사용하는 것과 유사한 구조와 크기로 제작되었으며 나이프도 현장에서 사용하는 것을 그대로 사용하였다.

#### 2.1.2 나이프 고정부(패드링)

스핀들에 끼워진 나이프를 고정하기 위해 Pad ring(NC 나일론)속에 Fitting plate(알루미늄)가 결합된 결합체(나이프 직경보다 조금 작게 구성)를 나이프 뒤에서 보울트로 스펀들과 체결한다. 이 같은 용도로 사용하는 Pad ring 과 Fitting plate 도 현장과 동일한 재질과 크기로 제작하였다

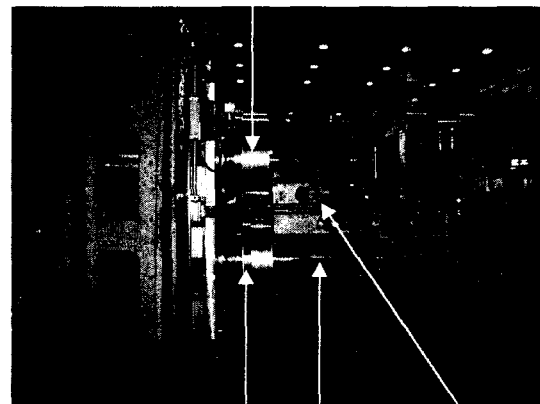
### 2.1.3 Gap 및 Lap 조정부

상,하부 나이프의 수평방향 간격(clearance)을 나타내는 Gap 량과 상,하부 나이프가 수직방향으로 서로 겹치는 량을 나타내는 Lap 량을 조정하는데 있어 현장 시스템에서는 Gap 및 Lap 모두 0 점 조정이 된 상태에서 트리밍 소재가 트리머에 도착하기 전 상위 컴퓨터로부터 소재의 강종 및 두께정보를 수신해서 테이블에 설정되어 있는 값대로 트리밍 소재가 트리머에 도착하는 시점에서 자동으로 설정되도록 되어 있다. 하지만 시뮬레이터에서는 Gap 과 Lap 량을 linear scale 을 이용한 조정용 핸들에 의해 수동으로 조정하도록 구성하였다

### 2.1.4 스트립 고정부

스트립(cutting 소재)이 고정되고 나이프를 포함하는 블록부가 이송되는 형태의 장치에서 cutting 시 나이프 이송력에 의해 스트립에 작용하는 전단력에 대응하기 위해 유압 클램프로 나이프를 고정하도록 하였다. 또한 유압 클램프는 스트립 중간쯤에서 작용하는 주 클램프와 스트립 선단부에서 작용하는 보조 클램프로 구성을 하였다.

나이프 고정용 보조 장치(패드링)



나이프 초음파 스트립  
진동장치 (Cutting 소재)

Fig.1 Configuration of side trimmer simulator

### 2.2 초음파 진동장치

초음파 진동장치는 초음파 진동을 발생시키는 장치로서 본 연구에서는 초음파 진동 발생장치에 의해 발생된 진동이 나이프를 고정시켜주는 역할을 하고 있는 fitting plate 를 통해 나이프에 전

달되는 구조로 되어 있다. Fig. 2 에 초음파 진동 장치의 구성을 나타내었다. 트리밍시 소재의 절단면 특성에 미치는 초음파진동 주파수 대역 및 부가질량으로 작용하는 시뮬레이터의 초음파진동 주파수에 대한 특성의 미 파악으로 초음파진동 장치를 각각 15, 18, 20kHz 로 구성하였다. 초음파진동장치는 크게 초음파를 발생시키는 진동자를 포함하는 초음파진동부와 발생된 초음파를 증폭시키는 역할을 하는 booster 부 그리고 초음파 진동을 실제 적용하고자 하는 공구로 전달해주는 horn 부 및 초음파 진동자에 전기적인 신호를 입력해 주는 앰프로 구성된다.

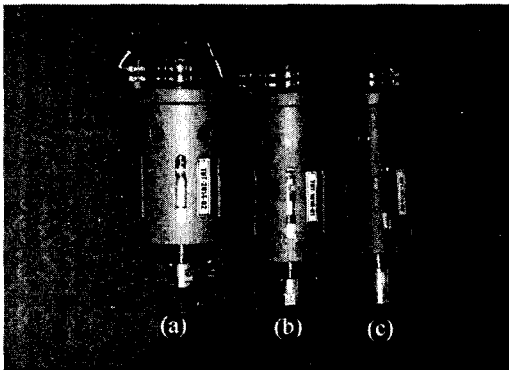


Fig.2 Configuration of ultrasonic vibration device  
(a)20kHz (b)18kHz (c)15kHz

### 3. 초음파진동 최적인가 조건도출

트리밍 시 소재의 절단면 특성에 미치는 초음파진동의 주파수 대역 및 부가질량으로 작용하는 시뮬레이터의 초음파진동 주파수 shift 의 영향에 대한 정보가 없으므로 초음파진동 장치를 각각 15, 18, 20kHz 로 제작하여 그 특성을 검토해 보고자 하였다. 상기와 같은 주파수 대역 중 최적의 인가조건을 도출하기 위한 요소로는 cutting 공구에 해당하는 나이프의 반경방향 및 축 방향 진동상태 그리고 나이프 원주방향 진동의 균일성등을 고려하여 선정하기로 하였다.

#### 3.1 Test 방법

나이프에 가해지는 최적의 초음파진동 인가조건을 도출하기위한 test 방법은 다음과 같다. 즉, 앰프를 통해 일정 주파수에 대한 전기적인 신호를 초음파진동 장치에 인가하게 되면 초음파진동 장치에서 인가 주파수에 해당하는 초음파진동을 발생시키게 되며 이 발생된 초음파진동은 나이프를 고정하고 있는 패드링 부를 통해 공구인 나이프에 전달되게 된다. 그리고 이 초음파진동을 받은 나이프의 진동 상

태는 나이프에 부착되어 있는 가속도 센서 및 주파수 분석장치에 의해 그 주파수와 크기가 측정된다. 이때 나이프와 상당히 큰 강성으로 결합해 있는 시뮬레이터의 질량이 초음파진동 주파수에 영향을 미치게 되므로 나이프에서 측정되는 진동상태는 인가하는 15, 18, 20kHz 각각의 주파수에서 최대의 출력을 나타내지 않는다. 따라서 초음파진동 장치에 인가하는 주파수를 일정 범위내에서 shift 시켜가면서 나이프부에서 반경방향 및 축방향으로 최대의 진동출력을 나타냄과 동시에 원주방향으로 균일한 진동상태를 나타내는 주파수를 결정하여 최적 초음파 인가조건으로 설정한다. 실험시 나이프 원주방향 진동상태의 균일성을 파악하기 위해서 나이프 원주방향으로 8 등분을 하여 진동을 측정하였으며 나이프 주변부의 초음파 진동상태를 같이 파악해 보기위해 Fig. 3 에 나타낸 바와 같이 총 6 부위의 진동을 측정하였다. 1 은 나이프 cutting 부의 반경방향, 2 는 나이프 cutting 부 반대편의 반경방향, 3 은 나이프 축방향, 4,5,6 은 각각 패드링의 위치별 반경방향을 나타낸다.

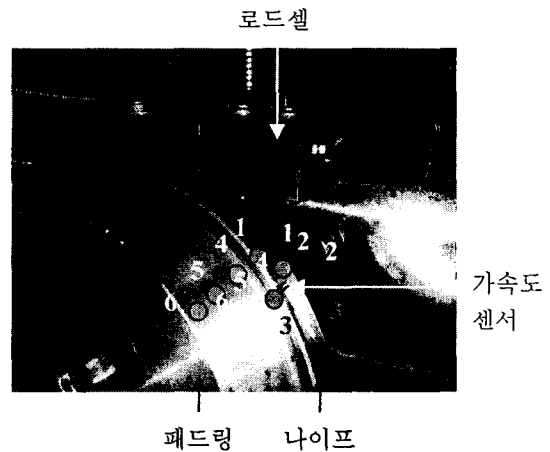


Fig.3 Measurement position of ultrasonic vibration

#### 3.2 Test 결과

Fig. 4 는 20kHz 의 진동자에 25kHz 를 인가했을 때 나이프부에서 가속도 센서에 의해 측정된 나이프의 진동상태를 측정한 결과를 측정부위별로 원주방향의 진동상태로 정리하여 나타낸 그림이다. 이와 같은 방법에 의해 각 진동자별로 다양한 주파수를 인가하여 측정 위치별 및 나이프 원주방향으로의 진동상태를 측정, 종합 분석한 결과 상기에서 언급했던 20kHz 의 진동자에 25kHz 를 인가했을 경우 나이프 반경방향 및 축 방향으로 가장

양호한 진동상태를 나타내었다.

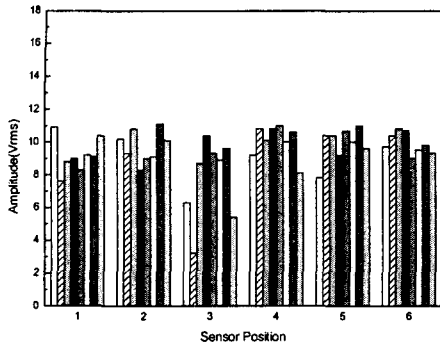
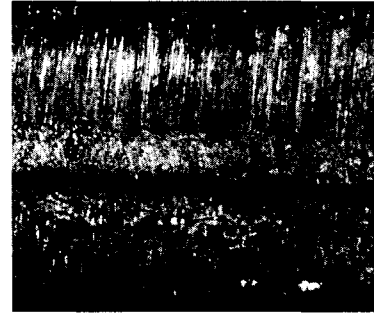


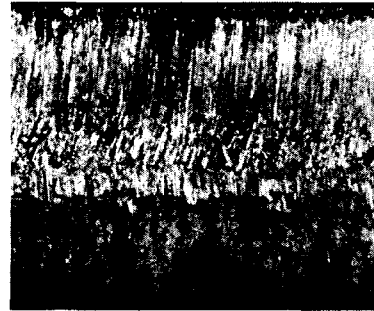
Fig.4 Vibration tendency of circumferential direction of knife with measurement position

#### 4. 초음파진동 최적인가 조건도출

앞 절에서 도출된 최적 초음파진동 인가조건 즉, 20kHz 진동자에 25kHz 주파수를 인가하는데 있어 fitting plate(알루미늄)와 pad ring(NC 나일론)이 결합된 구조의 패드링에 초음파진동을 인가 시키고 트리밍을 실시했을 때 초음파진동 인가가 소재의 절단면 특성 및 버 형성에 미치는 영향에 대해 실험을 행하였다. 사용된 소재의 두께는 4.0mm 이고 강종은 YP20 이며 Gap 과 Lap 량은 각각 현재 현장에서 사용하고 있는 0.14mm 와 0.35mm 로 설정하였다. Fig. 5 는 초음파진동 가진 전과 초음파진동 가진 후의 소재의 스트립부 절단면 특성을 나타내는 것이다. Fig. 5 에서 보는 바와 같이 초음파진동을 인가시켰을 경우가 비 인가시에 비해 전단면의 경우는 전단면 전체에 걸쳐 나이프가 균일하게 작용하였음을 알 수 있고 파단면의 경우는 파단면이 상당히 균일해짐을 확인할 수 있다. 또한 파단면의 끝 부분인 파단선도 훨씬 균일해짐을 확인할 수 있다. Fig.6 은 초음파진동 가진 전과 가진 후의 실제 버 형상을 현미경으로 관찰한 것으로 그림에서 보는 바와 같이 트리밍 시 초음파 진동을 인가했을 경우 버의 길이 및 폭이 기준에 비해 크게 감소함을 알 수 있다. 버의 길이와 폭은 각각 가로선을 중심으로 아래로 내려온 길이와 세로선을 중심으로 가로방향으로 퍼진량으로 정의 하였다. 또한 Fig.7 에서도 확인할 수 있듯이 초음파 진동 인가 후가 인가 전에 비해 절단면을 기준으로 조직이 변형되는 깊이가 작아짐을 확인할 수



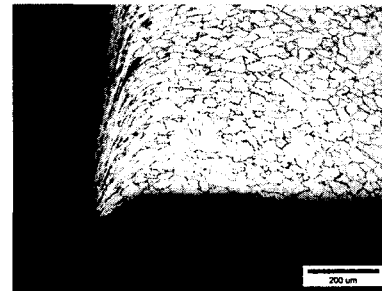
(a)



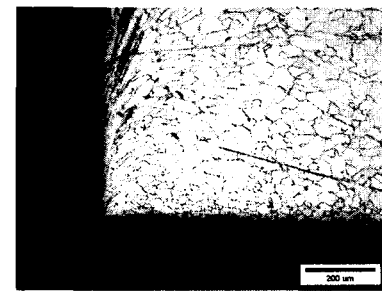
(b)

Fig.5 Comparison of cutting face with and without Ultrasonic vibration

(a)With U/S (b)Without U/S



(a)

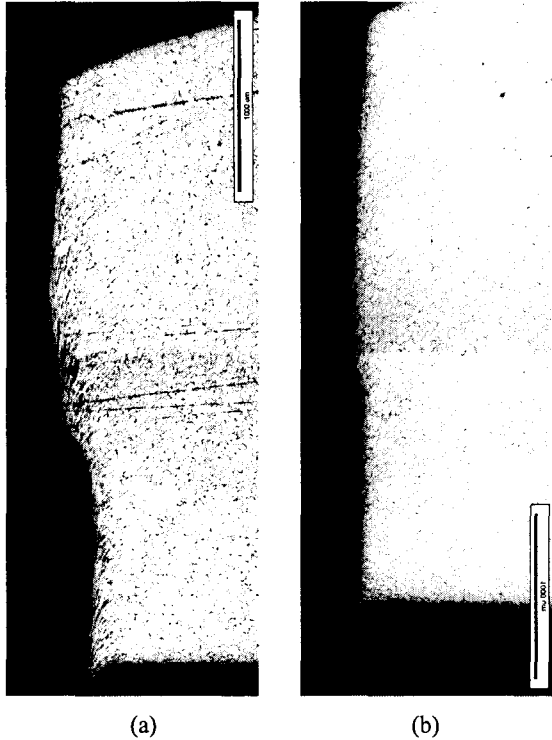


(b)

Fig.6 Comparison of burr shape with and without Ultrasonic vibration

(a)With U/S (b)Without U/S

있는데 Fig. 7 에 이를 좀 더 세밀히 관찰할 수 있도록 단면 전체의 측면 사진을 나타내었다. 앞에서 설명한 것처럼 초음파진동 인가시가 비인가 시에 비해 조직 변형깊이가 작음을 확인할 수 있으며 파단부도 직선으로 균일한 형태를 나타냄을 알 수 있다. 또한 이와 같이 절단면을 기준으로 한 조직변형깊이가 작다는 것은 트리밍시 전단력을 적게 받는 것으로 추정할 수 있다.



**Fig.7 Comparison of grain deformation of cutting face with and without ultrasonic vibration**  
**(a)With U/S (b)Without U/S**

### 5. 결 론

냉간압연 전 열연소재 에지부의 일정량을 트리밍 하는 사이드트리밍 공정 시 부적절한 절단면 확보에 의한 톱귀 발생 및 후 공정에서 사용되는 롤 들의 수명 단축, 이에 의한 표면품질 저하 문제 해결과 절단면 품질향상에 의한 트리밍 양 감소 및 폭 역전 압연을 위한 기반기술 확보등의 측면에서 트리밍 시 나이프에 초음파진동을 인가함으로써 상기 문제를 해결할 수 있는 하나의 수단이 될 수 있는지에 대한 검토를 행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1)현장용 트리밍 나이프를 사용할 수 있는 사이드트리머 시뮬레이터 및 초음파진동 장치를 제작하고 나이프부의 반경방향 및 축 방향 진동 출력을 최대로 하는 최적 초음파진동 인가 조건을 도출하였다(진동자 : 20kHz, 인가 주파수: 25kHz).
- (2)상기 도출된 초음파진동 인가 시 절단면 상태가 양호해지며(전단면에 나이프가 균일하게 작용하며 파단면과 파단선 양호)버 길이 및 폭, 절단면으로부터 판 폭 방향으로의 조직 변형 깊이도 감소하며 전단면에서 파단면으로의 전환시 칩투깊이도 작아짐을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- (1) Teruo Horisawa, 1997, "New Trimming Method for Burr-Less Trimming", SEASIS, Vol.1, No. 1~11, pp.1/1-1/8
- (2) 2001, "Hot 酸洗 Line 新 Side Trimming 法", 住友金屬 技術交流會
- (3) 竹増 光家, 1997, "超音波振動付加しごき 加工によるアルミニウム管の 精密表面仕上げ ", Journal of the JSTP, Vol.38, No.442, pp.53~58
- (4) Pongpan Kaewtatip, 1999, "ダイス半徑方向振動の利用によるしごき加工性の向上", Journal of the JSTP, Vol.40, No.457, pp.39~44
- (5) H.Takeyama, 1991, "Burrless Drilling by Means of Ultrasonic Vibration", Annals of the CIRP, Vol.40, pp.83~86