

〈技術論文〉

후판압연에서의 오버랩 제어에 대한 실험적 연구

千明植* · 韓哲榮* · 李焜楨* · 金鍾根*

(1990년 8월 4일 접수)

An Experimental Study on Overlap Control at Plate Rolling

M. S. Chun, S. Y. Han, J. J. Yi and J. G. Kim

Key Words : Trimming-Free Plate(무전단 후판), Overlap(오버랩), Dog Bone(도그 본), Side Crop(측면 크롭), Chamfering Amount(첼퍼량), Chamfering Angle(첼퍼각)

Abstract

For manufacturing trimming-free plates which have rectangular shaped edges and straight edges in as-rolled state, it is necessary to investigate rolling characteristics of overlap, bulge and width deviation etc. in a standardized plate rolling process. The present work is for preventing edge overlap as the first approach to develop trimming-free plate rolling technique. An experimental study on overlap control was done with plasticine material in order to examine influence factors and find a control method by use of a laboratory mill scaled down to one tenth of actual production mill. It was found that edge overlapping was increased with the increase of slab thickness and of broadside rolling ratio, but decreased with the increase of chamfered amount on slab edges. In the simulated rolling experiment with edge chamfered slabs of various chamfered angles, the chamfered angle of 60° was the most effective one for reducing overlapping irrespective of slab thickness and of broadside rolling ratio.

1. 서 론

근래의 후판 압연기술을 살펴보면 각종 압연법의 개발에 따라 압연판 자체의 평면형상이 직선화, 직각화 됨으로써 실수율의 저해요인인 전단량이 크게 감소되어 가는 추세에 있다. 현재 국내의 후판압연은 기존의 사상압연기(finishing mill)에 조압연기 에저(roughing edger), 조압연기(roughing mill), 사상압연기 에저(finishing edger)등의 설비를 확장하여, 에저 압연법^(1~4)(vertical rolling or edging)을 적용 중에 있으나 일본의 실수율 수준인 96~97% 선까지 향상시키기에는 아직 기술이 미흡

한 실정에 있다. 최근 MAS(Mizushima Automatic Plane View Pattern Control System) 압연법⁽⁵⁾ 등 각종의 평면형상 제어 압연법이 개발되어 적용되고 있으나, 이 압연법들 역시 압연 종료시에는 측면 크롭이 항상 존재하고, 또 측면 크롭이 작다 하더라도 설비상 전단에 필요한 최소폭이 확보되어야 하기때문에 근본적으로 최대의 실수율을 얻기 위해서는 무전단 후판 압연⁽⁶⁾기술의 개발이 요구된다.

후판압연 후 존재하는 크롭은 판 길이방향을 기준으로 판 폭방향의 측면 크롭(side crop)과 선, 후단부의 엔드 크롭(end crop)으로 나뉘어지는데, 실수율 측면에서 볼 때 측면 크롭에 의한 전단이 대부분을 차지하므로 이를 제어하여 전단공정까지 생략하기 위해서는 Fig. 1과 같은 제반조건들이 해

*정회원, 산업과학기술연구소 압연연구실

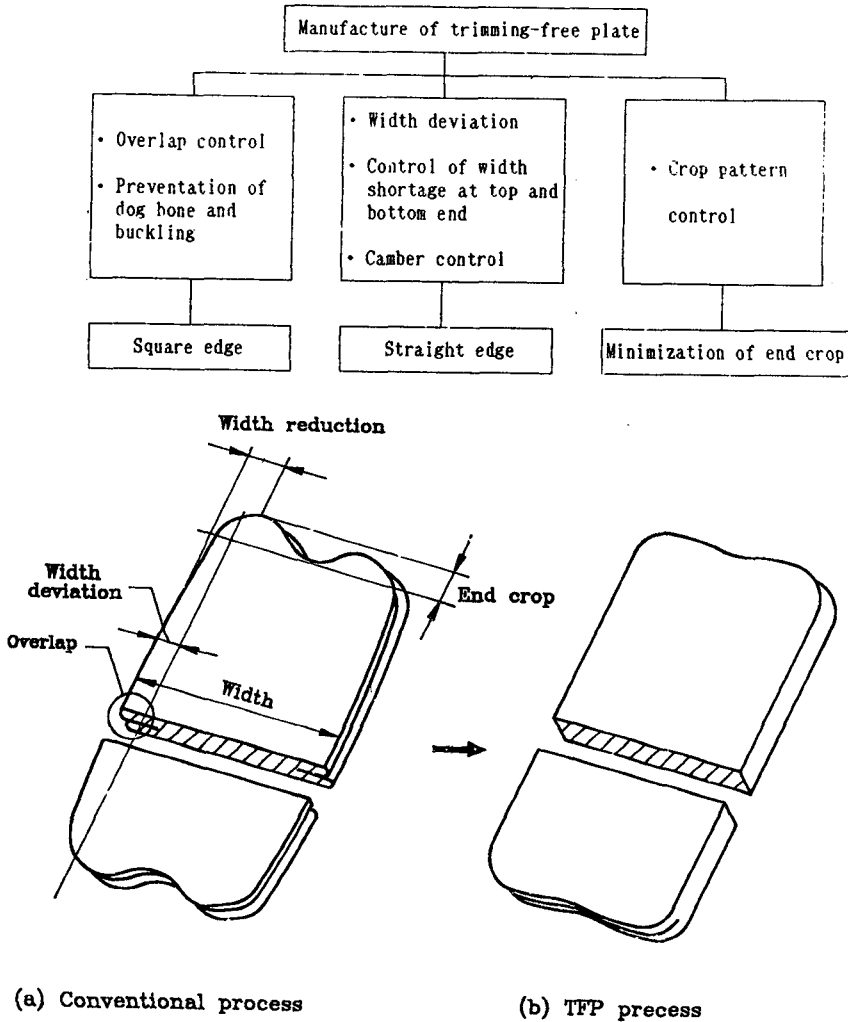


Fig. 1 Requirements of trimming-free plate

결되어야 한다.

본 논문은 무전단 후판 압연기술의 제반조건들 중 오버랩 제어에 관한 것으로 조압연 공정인 폭내기 압연(broadside rolling)을 실시하면 압연방향의 선, 후단부에서 각각 비정상변형부(overhang)가 존재하게 되는데, 이러한 현상은 수평압연시 롤과의 접촉부인 소재 상하면과 비접촉부인 중심면 사이의 재료유동(material flow)의 차에 의하여 발생된다. 폭내기 압연을 실시한 후 오버행으로 발전한 압연재는 90°회전후 사상압연을 실시하게 되는데, 패스(pass)수가 증가함에 따라 상하부의 불균일 변형부는 서로 겹쳐지는 현상으로 발전하게 된다. 이 공정에서 발생하는 에지부의 겹침부를 오버랩이라

정의한다. 이 오버랩은 슬라브(slab)의 두께가 두꺼울수록 크며 분괴재인 경우 보통 20~30mm 정도가 된다고 보고⁽⁶⁾되어 있다. Fig. 2는 후판압연 공정에서 오버랩이 발생되고 있는 과정을 나타낸 것이다.

고르기, 폭내기, 사상압연의 공정을 끝낸 압연소재는 전단공정을 실시하게 되는데, 고르기 및 사상압연시 판의 선, 후단부에 발생한 오버랩은 전단공정에서 엔드 크롭과 함께 전단되기 때문에 크게 문제되지 않으나, 폭내기 압연시 발생한 오버행은 결국 판 폭방향의 오버랩으로 남게 된다. 현재의 압연방법에서는 측면 크롭량이 오버랩량보다 크기 때문에 측면 크롭 전단시 오버랩도 동시에 전단되

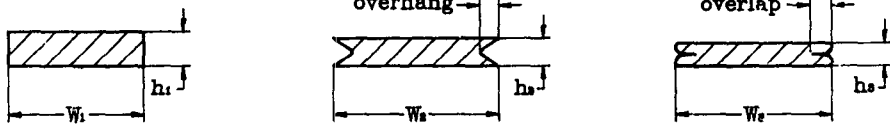
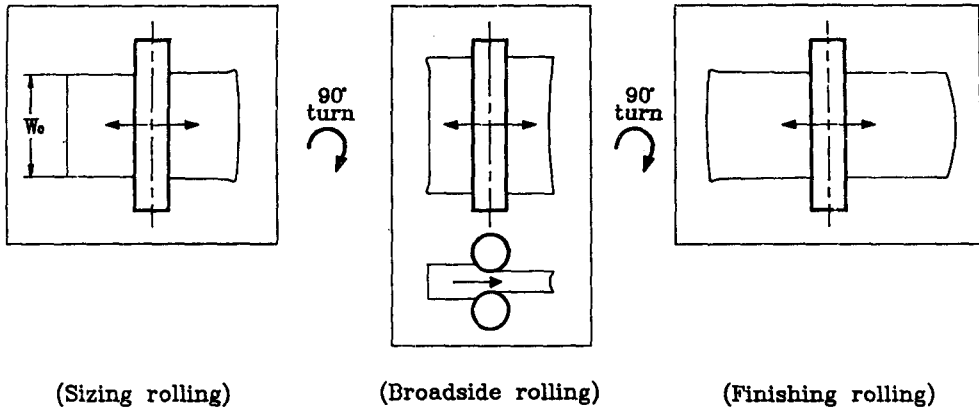


Fig. 2 Conventional rolling process

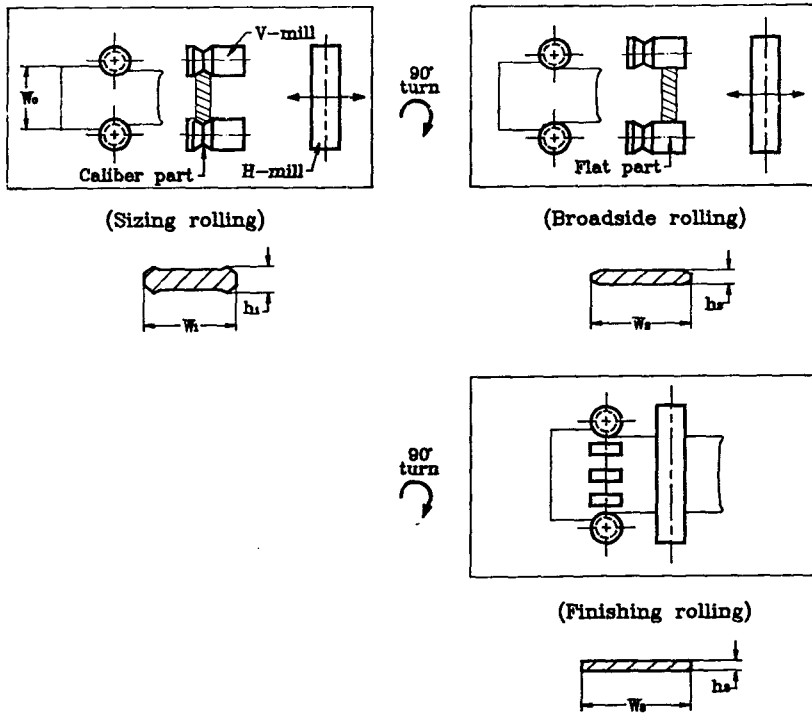


Fig. 3 Rolling process for preventing overlap

있지만, 무전단 후판 압연을 위해서는 예지부 오버랩은 반드시 제어해야 할 요소이다.

오버랩을 제어하기 위해서는 압연전에 예비성형 (preforming)으로 슬라브의 형상을 바꾸어 주든

지, 현재의 압연방법을 다소 개선해야 하는데 슬라브를 압연조건에 따라 미리 각각 다른 형상으로 바꾸어 압연을 실시한다는 것은 설비가 별도로 추가되어야 하기 때문에 실용성이 없으며 압연과정중에 슬라브 형상을 변화시킬 수 있는 방법을 고안해야 한다. 현재 후판 조압연기 선단에는 에저가 설치되어 있으므로 별도의 G롤(groove roll)을 추가로 설치할 필요가 없이 본래의 에저에 그루브(groove) 부분을 추가시킨 복합형 에저로 교체하고, 필요에 따라 상하로 이동(shifting)하게 함으로써 슬라브 형상을 변화시킬 수 있다. Fig. 3은 오버랩의 제어방법을 나타낸 것이다.

따라서 오버랩을 제어하기 위해서는 G롤의 형상 결정이 필수적이며 이는 현재의 그루브 에징을 실시하지 않은 방법에서 발생하는 오버랩의 형상에 따라 G롤의 각도를 결정해 주는 것이 적합하지만, 압연조건 및 소재조건에 따라 오버랩의 형상이 서로 다르고 각각의 롤을 가공하여 조건별로 압연을 실시한다는 것은 비실용적이므로 최적 G롤의 각도를 결정하는 것이 바람직하다. 그러므로 본 연구에서는 그루브의 각도에 따라 그루브 에징을 한 형상과 상사하게 가상의 슬라브를 제작하여 오버랩에 영향을 미치는 압연인자들을 분석하고 그 영향을 검토함으로써 최적 G롤의 각도를 결정하였고, 최적인 G롤의 형상으로 에저를 제작하여 G 에징량에 따른 오버랩량의 변화를 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 실험조건

실험소재는 요즘 열간압연 실험용 재료로 많이 사용되고 있는 탄산칼슘(CaCO₃)에 그리이스를 혼합하여 만든 백색의 plasticine을 사용하였으며 그 이유는 20℃ 일때의 plasticine의 물성치가 후판 압연조건인 1000℃ 강의 물성치와 가장 상사하기 때문이다⁽⁷⁾. 또한 실험소재가 롤에 정착되는 현상을 방지 하기 위하여 매 단계마다 윤활제로 탄산칼슘 분말을 사용하였으며 이 경우 마찰계수는 약 0.6으로 열간압연시의 마찰계수와 거의 근사하다⁽⁷⁾. 실험에 사용된 슬라브의 규격은 Table 1과 같이 실제 슬라브 크기의 1/10로 축소하여 제작하였으며, 슬라브의 폭과 길이는 오버랩에 영향을 주지 않으므로 슬라브 두께만을 고려하였다. 실험에 사용된 슬라브는 오버랩량에 영향을 주는 인자를 조사하기

위한 챔퍼가 없는 예비압연 실험용 슬라브 50개와 오버랩 감소 효과를 실험하기 위한 챔퍼를 준 슬라브 170개 등 총 220개의 슬라브가 소요되었으며 챔퍼 슬라브(chamfer slab)의 제작은 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 의 경사를 줄 수 있는 챔퍼용 전단장치를 이용하였다.

Table 1 Model slab size and roll specification

Slab size (mm)		Roll specification (mm)		
Thick-ness (h)	Width×Length (w×l)	Horizontal Roll	Vertical roll	
			Flat	Groove
16	160×240	φ105	φ100	φ70
19				
22				

Table 1 Rolling condition for different thickness

Slab thickness (mm)	Chamfering angle, θ (°)	Chamfering amount, $a \times b$ (mm ²)
16	90	—
	60	0.7×1.2, 1.2×2, 1.7×3, 2.4×4.2
	45	1.3×1.3, 2.2×2.2, 3×3
	30	2×1.2, 3.2×1.9, 5×2.89
19	90	—
	60	1.3×2.2, 2.2×3.8, 2.7×4.7
	45	1.8×1.8, 2.8×2.8, 3.5×3.5
22	90	—
	60	2×3.4, 2.1×3.6, 2.8×4.9, 3.4×5.9, 3.6×6.2, 3.8×6.5
	45	2.5×2.5, 4.2×4.2, 5.2×5.2

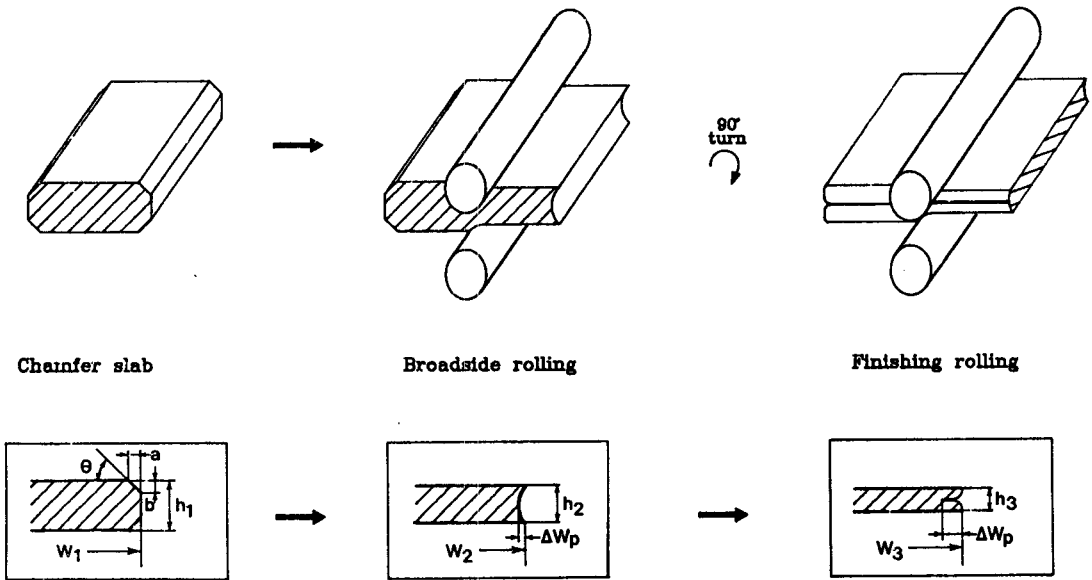


Fig. 4 Experimental method

Table 3 Pass schedule for broadside rolling

Broadside rolling ratio (R_w)	pass schedule (broadside rolling)								
	h_0	$-0.92h_0$	$-0.83h_0$	$-0.75h_0$	$-0.67h_0$	$-0.59h_0$	$-0.53h_0$	$-0.48h_0$	$-0.44h_0$
1.5	-----								
1.9	-----								
2.3	-----								

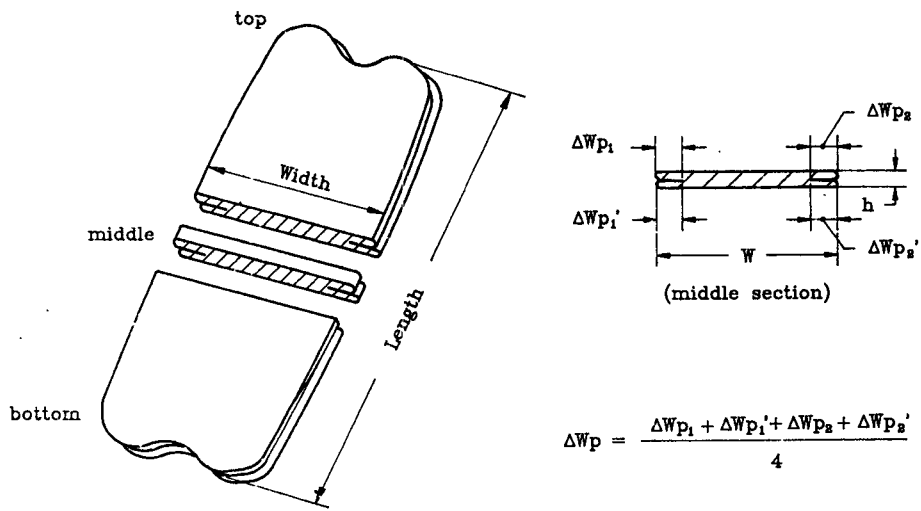


Fig. 5 Definition of the amount of overlap

실험장치는 실제 후판 압연기를 1/10로 축소하여 만든 실험압연기를 사용하였으며 실험시 롤 회전수의 범위는 6~10 rpm으로 유지하고 전, 후단에 설치된 로울러 테이블의 회전속도도 이와 동일하게 하였다. 그리고 실험소재가 온도에 매우 민감하여 20℃에서 1℃ 변화하면 약 6%의 항복응력의 변화⁽⁷⁾가 생기기 때문에 실험시에는 항온항습 장치를 이용하여 후판 압연시와 가장 근사한 물성치를 보이는 20℃의 일정온도로 24시간 유지하였다.

2.2 압연실험

실험은 Table 2와 같이 두께에 따라 철파각, 철파량을 변화시킨 슬라브를 사용하여 폭내기 압연한 후 슬라브를 90°로 회전시키고, 최종 두께가 $h_f = 5$ mm 될때까지 사상압연을 실시하였다(Fig. 4). 압연 진행 방향은 top-bottom-top-bottom...의 순으로 반복압연을 실시 하였으며, 폭내기 압연비 R_w 에 따른 pass schedule은 Table 3과 같다.

슬라브의 두께가 두꺼우면 사상압연후 에지부의 단면을 전단하였을 때 상하면의 접착으로 인하여 오버랩량의 측정이 어려우므로 실험시 슬라브 측면에 물감을 칠한 후 압연실험을 하였으며, 측정은 1/10mm 까지 가능한 휴대용 콤파레이터(comparator)를 사용하였다. 오버랩량은 폭내기 압연후와 사상압연 종료후에 각각 측정하여 Fig. 5와 같이 소재 중앙부를 기준으로 양 에지의 상하부를 평균한 값으로 정의하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 폭내기 압연비의 영향

Fig. 6은 폭내기 압연비 R_w 가 1.5, 1.9, 2.3인 경우로써, 폭내기 압연을 실시하였을 때의 에지부 단면형상을 보여준다. 사진에서 보듯이 폭내기 압연비가 커질수록 오버랩량도 증가하며, 이러한 현상은 초기 슬라브의 두께가 두꺼울수록 더욱 현저하게 나타난다. 이 결과로부터 폭내기 압연비가 증가함에 따라 소재의 상하면 및 중심면의 재료유동의 차가 커진다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 7은 폭내기 압연비와 오버랩량과의 정량적인 관계를 무차원 변수를 이용하여 표시한 것으로 폭내기 압연비가 커질수록 오버랩량은 증가하며 같은 폭내기 압연비에 있어서는 슬라브 두께가 두꺼울수록 오버랩량이 증가함을 알 수 있다. Fig. 8은

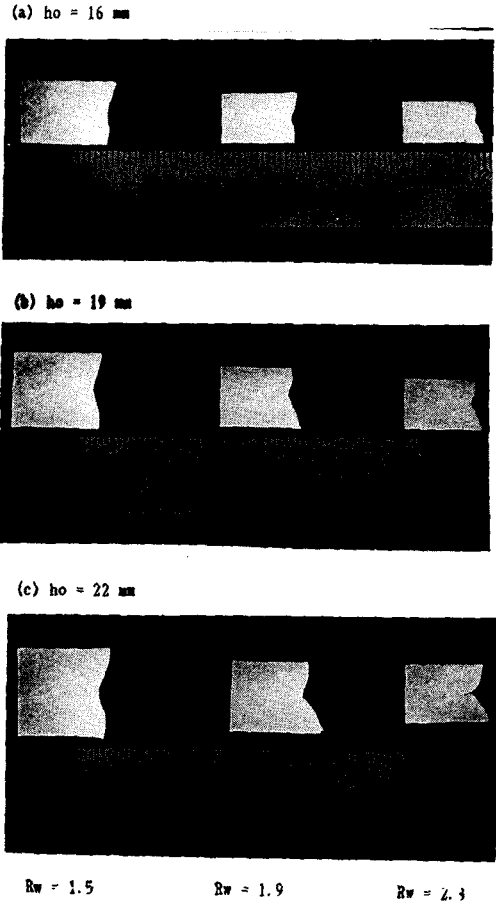


Fig. 6 Influence of broadside rolling ratios

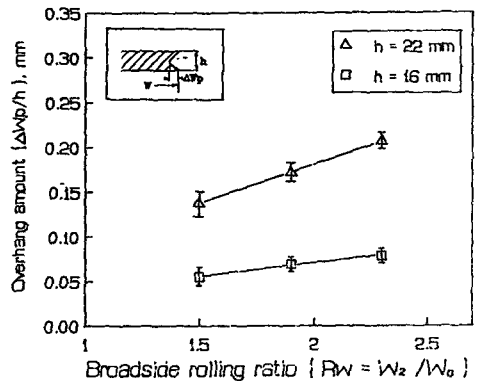


Fig. 7 Relation between R_w and $\Delta W_p/h$ after broadside rolling

사상압연 후의 폭내기 압연비와 오버랩량과의 실험 결과로, 폭내기 압연 후의 결과와 유사하나 사상압

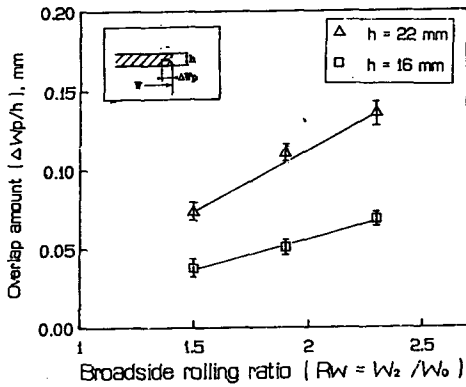


Fig. 8 Relation between R_w and $\Delta W_p/h$ after finishing rolling

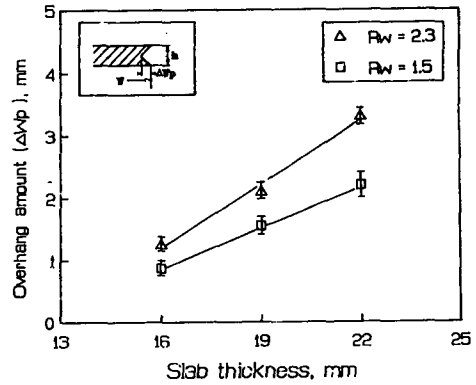
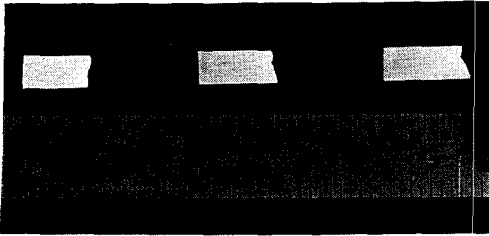
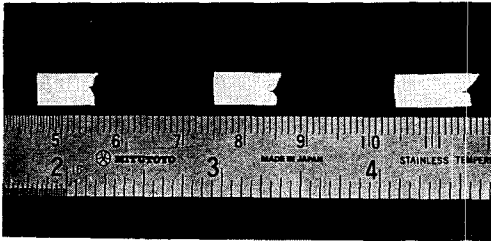


Fig. 10 Relation between slab thickness and ΔW_p after broadside rolling

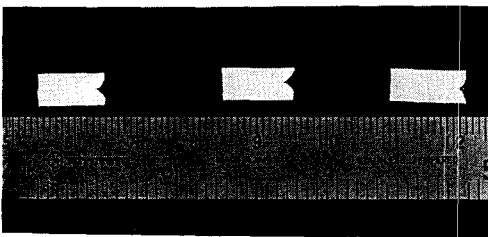
(a) $h_0 = 16$ mm \rightarrow $h = 5$ mm



(b) $h_0 = 19$ mm \rightarrow $h = 5$ mm



(c) $h_0 = 22$ mm \rightarrow $h = 5$ mm



$R_w = 1.5$ $R_w = 1.9$ $R_w = 2.3$

Fig. 9 Influence of slab thickness

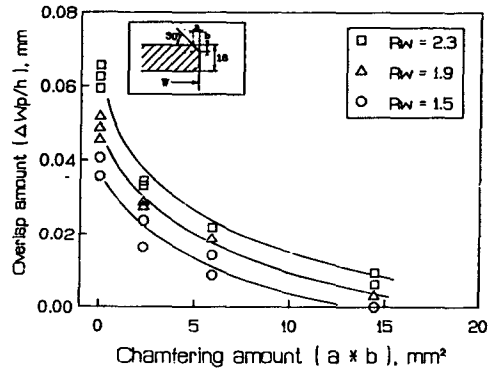


Fig. 11 Effect of chamfering on the amount of overlap for different broadside rolling ratios

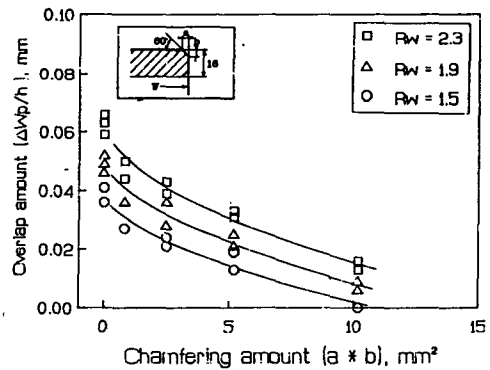


Fig. 12 Effect of chamfering on the amount of overlap for different broadside rolling ratios

연 실시 후의 오버랩량은 폭내기 압연 실시 후의 오버랩량 보다 다소 감소되어가는 경향을 볼 수 있

는데, 이러한 현상은 사상압연을 실시할 때, 판 두께가 얇아짐에 따라 오버랩 부분이 측면방향으로

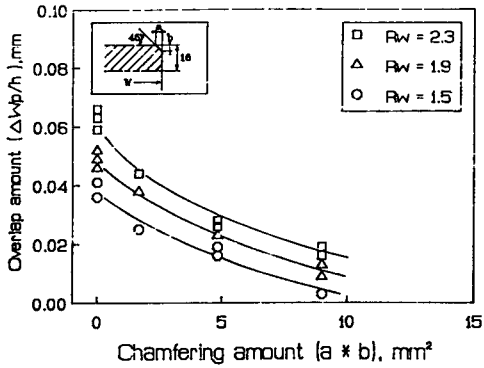


Fig. 13 Effect of chamfering on the amount of overlap for different broadside rolling ratios

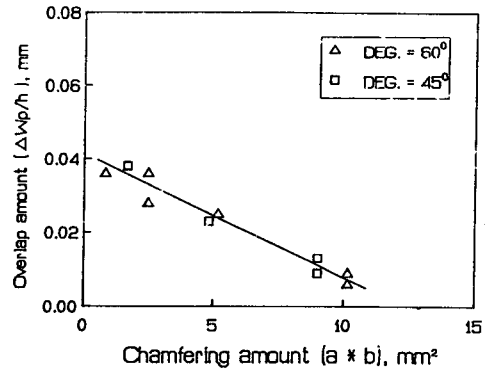


Fig. 14 Comparison of $\theta = 45^\circ$ and $\theta = 60^\circ$ on the amount of overlap ($h = 16\text{mm}$, $R_w = 1.9$)

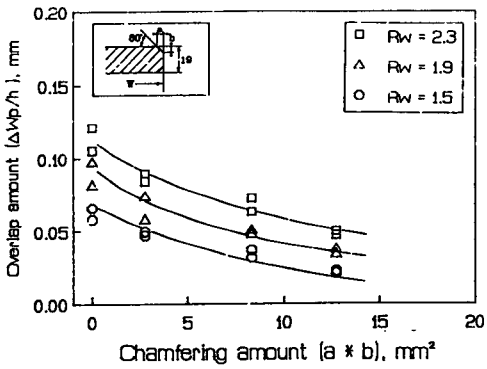


Fig. 15 Effect of chamfering on the amount of overlap

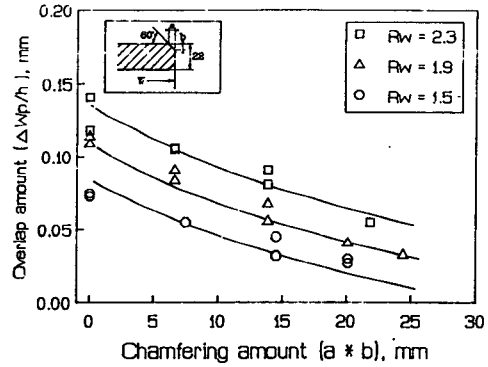


Fig. 16 Effect of chamfering on the amount of overlap

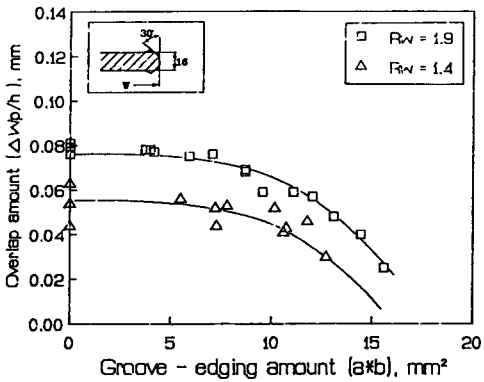


Fig. 17 Effect of groove edging on the amount of overlap for different broadside rolling ratios

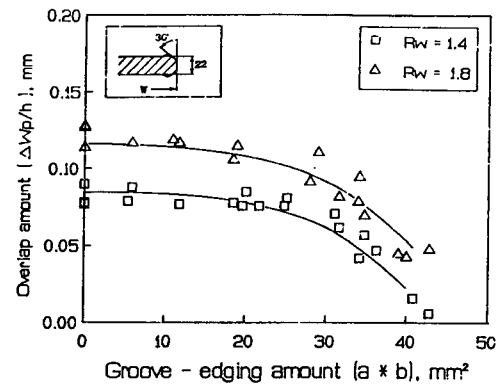


Fig. 18 Effect of groove edging on the amount of overlap for different broadside rolling ratios

별징되면서 표면과 이면으로 재료가 유동되기 때문이다. 위의 결과로부터 폭내기 압연비는 오버랩량의 변화에 큰 영향을 주는 인자임을 알 수 있다.

3.2 두께의 영향

Fig. 9는 초기 슬라브 두께가 16, 19, 22mm인 슬라브를 최종 두께 $hf = 5\text{mm}$ 까지 폭내기 압연 및

사상압연을 실시하였을 때의 에지부 단면 형상을 보여주는데 초기 슬라브의 두께가 클수록 오버랩량이 크다는 사실을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 두께가 두꺼울수록 두께 방향의 유동속도차가 커지기 때문에 오버랩량도 비례하여 증가하기 때문이다.

Fig. 10은 폭내기 압연후 초기 슬라브 두께와 오버랩량의 실험결과로, 슬라브의 두께가 두꺼울수록 오버랩량은 증가하고 같은 슬라브 두께에서는 폭내기 압연비가 클수록 오버랩량이 증가함을 알 수 있으며 사상압연 후의 실험결과도 폭내기 압연 후의 경우와 같은 경향을 보인다. 따라서 초기 슬라브 두께는 오버랩량의 변화에 영향을 주는 인자임을 알 수 있으며 결과적으로 오버랩량을 예측하기 위해서는 폭내기 압연비 뿐만 아니라 슬라브 두께의 영향도 고려해야 한다.

3.3 챔퍼각 및 챔퍼량에 따른 오버랩량의 변화

G 롤의 최적 형상을 결정하기 위하여 G 에징을 실시한 형상과 상사한 가상의 슬라브를 제작하여 챔퍼각, 챔퍼량에 따른 오버랩량의 변화를 실험하였다.

Fig. 11은 폭내기 압연비의 영향을 알아 보기 위하여 챔퍼각을 30°로 일정하게 유지하고 압연비를 1.5, 1.9, 2.3으로 변화시키면서 오버랩량을 측정 한 결과이다. 이 그림에서 동일한 챔퍼량인 경우, 폭내기 압연비가 증가할수록 오버랩량도 거의 비례하여 증가함을 알 수 있었고 따라서 폭내기 압연비가 큰 $Rw=2.3$ 에서는 더 많은 챔퍼량을 주어야 오버랩의 최소화가 가능함을 알 수 있었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 챔퍼각의 영향을 조사하기 위하여 $\theta=45^\circ$, $\theta=60^\circ$ 로 변화시키면서 실시한 실험결과로, 챔퍼각 보다는 챔퍼량을 증가시키에 따라 오버랩량의 감소가 현저하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 그러나 동일한 챔퍼량의 조건에서 고려해 볼 때, $\theta=30^\circ$ 인 경우는 오버랩량을 최소화 하기 위하여 더 큰 챔퍼량을 요구하므로 $\theta=45^\circ$ 와 $\theta=60^\circ$ 인 경우보다 불리함을 알 수 있었다. 왜냐하면 오버랩을 제어하기 위해서는 소재조건 및 압연 조건에 따라 오버랩량을 최소로 하는 챔퍼량을 결정해 주면 되지만, 챔퍼량이 크면 압연력이 증가할 뿐만 아니라 경우에 따라서는 G 에징의 패스수를 늘려 주어야 하기 때문이다.

$\theta=45^\circ$ 와 $\theta=60^\circ$ 인 경우를 좀 더 구체적으로 비교하기 위하여 실험한 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 이 그림으로부터 $\theta=45^\circ$ 인 경우나 $\theta=60^\circ$ 인 경우에 챔퍼각이 오버랩량에 미치는 영향에는 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었으며, 따라서 이 범위에서의 챔퍼각이 가장 적합하다고 생각되나 동일한 조건에서 살펴보면 $\theta=60^\circ$ 인 경우가 G 에징을 할 수 있는 압연 범위면에서 $\theta=45^\circ$ 인 경우보다 다소 유리하다.

Fig. 15와 Fig. 16은 초기 슬라브 두께가 19, 22 mm인 경우의 챔퍼량과 오버랩량의 실험결과로 두께가 두꺼울수록 오버랩량을 최소로 하는 최적 챔퍼량의 크기가 증가함을 알 수 있었으며, 또한 폭내기 압연비의 효과를 검토해보면, 동일한 챔퍼량의 경우, 폭내기 압연비가 증가할수록 오버랩량도 증가하므로 폭내기 압연비가 큰 경우에는 작은 경우보다 챔퍼량을 더 크게 주어야 함을 알 수 있었다.

Fig. 17과 Fig. 18은 최적인 $\theta=60^\circ$ 의 G 롤을 가공하여 도그 본의 효과까지 고려한 실험결과이다. 이 그림들로부터 도그 본의 효과를 무시한 경우, 즉 챔퍼 슬라브를 제작하여 실험한 경우와 곡선의 형태가 달라짐을 알 수 있었는데 이는 G 에징시 슬라브 선, 후단부에 형성된 도그 본이 그 다음 공정한 폭내기 압연을 실시할 때 G 에징량에 따라 본래 폭으로 회복되는 양이 서로 다르기 때문이다. 따라서, 이 도그 본의 회복으로 인하여 오버랩량을 최소로 하는 G 에징량의 값은 도그 본의 효과를 무시한 경우보다 증가하게 됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

무전단 후판 압연기술을 개발하기 위하여 조압연 공정중 폭내기 압연시에 발생하는 오버랩을 제어함으로써 최종 판 형상의 직각화를 시도할 목적으로 슬라브 두께, 폭내기 압연비의 영향을 고려하고 챔퍼량, 챔퍼각에 따른 오버랩량과의 관계를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 슬라브 두께 및 폭내기 압연비가 증가함에 따라 오버랩량도 증가한다.

(2) 챔퍼량이 증가할수록 오버랩량은 감소되나 폭내기 압연비와 슬라브 두께가 증가함에 따라 그 값은 증가한다.

(3) 챔퍼각에 따라서는 오버랩의 변화에 큰 영향

은 없으나 G 에징을 할 수 있는 압연범위와 압연력을 고려해 볼 때 $\theta=60^\circ$ 인 경우가 가장 적합하다.

(4) 오버랩을 최소로 하는 G 에징량은 도그 본의 효과를 고려하는 경우가 무시하는 경우에 비해 크다.

참 고 문 헌

- (1) 小林芳平 外, 1981, "厚板 Edger에 의한 平面形状改善", 鐵과 鋼, S1025, p. 375.
- (2) 川村浩一 外, 1978, "Edging 壓延에 의한 厚板의

變形學動에 대하여", 鐵과 鋼, S282, p. 282.

- (3) 河野幸三 外, 1986, "厚板 Edging에 의한 幅퍼짐特性", 鐵과 鋼, S1119, p. 327
- (4) 川崎製鐵(水島), 1987, "TFP Edger 설비", 石川島播磨技報, 1987, Vol. 27, No. 3, pp. 182~184.
- (5) 旭 一郎 外, 1979, "壓下修正(MAS) 壓延法の原理", 鐵과 鋼, S304-S306, pp. 304~306.
- (6) M. Inoue et. al., 1988, "Development of a Process for Manufacturing Trimming Free Plates", Trans. ISIJ, Vol. 28, pp. 448~455.
- (7) K. Chijiwa et. al., 1980, "Characteristics of Plasticine Used in the Simulation of Slab in Rolling and Continuous Casting", Trans. ISIJ, pp. 178~186.