

## 討18 異径クラスター圧延機による高張力鋼の圧延

新日本製鐵 第3技術研究所 川並高雄 山本普康 三菱重工業 広島研究所 大森舜二  
名古屋製鐵所 大矢 清 広島造船所 守屋胸男

### 1. 緒言

近年、冷延鋼板の主要用途である自動車用鋼板において、高強度でかつ加工性の優れた材料が要求されている。しかしながら、既存の圧延機では、このような高強度材の圧延において十分な冷延率の確保ができないという問題が生じている。そこで、筆者らは、既存の4重式圧延機からの改造が容易であり、しかも高圧下圧延と良好な形状制御が可能である異径クラスター圧延機<sup>1)</sup>(NMR圧延機)を開発した。ここでは、この圧延機を用いて高張力鋼を圧延した時の圧延特性や異径クラスター圧延機の形状制御特性などについて報告する。

### 2. 異径クラスター圧延機の構造

異径クラスター圧延機の構造は、Fig. 1に示すように、片側が大径WR(ワークロール)とBUR(バックアップロール)からなる2重ロール型式で、もう一方が小径WR、IMR(中間ロール)および分割BURからなる6重クラスターロール型式の異径ロール圧延機である。Table 1に異径クラスター圧延機の代表的なロールサイズを示す。また、形状制御機構としては、クラスターロール側の軸方向に3から7個程度に分割されたBURのうち、サイド2列の分割ロール部を押し出すこと

によって、BURにクラウンをつけることのできるクラウンベンド<sup>2)</sup>と、2本のIMRに同時に曲げたわみを与えるIMRベンダー<sup>2)</sup>とを有す。さらに、大径WRにはWRベンダーが取り付けられている。

### 3. 圧延特性

Table 1に示すロールサイズを持つ異径クラスター圧延機を用いて、圧延実験を行った。その時の圧延条件をTable 2に示す。異径

クラスター圧延機を冷間タンデムミルの第1スタンドに組み込み、2本のIMRと大径WRを駆動した(上下のWRはほぼ同周速となるように制御)。圧延材料は普通鋼(SPCC)と40kgf/mm<sup>2</sup>高張力鋼であり、その時の代表的な降伏応力と圧下率の関係をFig. 2に示す。板厚(H)は3.2mmで、板幅(W)は1500mmである。圧下率(r)は20~50%、後方張力( $\sigma_b$ )は0.9kgf/mm<sup>2</sup>、前方張力( $\sigma_f$ )は19または20kgf/mm<sup>2</sup>であり、圧延速度( $V_1$ )は100~300m/minである。潤滑には鉱油系3%エマルジョン潤滑油を用い、ワークロールは1.3~1.5 $\mu$ m Raのスクラッチロールである。

Table 2 Rolling condition

1. Position of stand :	No 1 stand in cold tandem mill
2. Materials	① Mild carbon steel (SPCC) Ex., $\sigma_y = 67.64 \times (0.030 + \epsilon)^{0.271} + e^{6.5} (\frac{\epsilon}{\epsilon_0})^{KT/0.14}$ ② 40kgf/mm <sup>2</sup> high tensile strength steel Ex., $\sigma_y = 88.01 \times (0.010 + \epsilon)^{0.199} + e^{6.5} (\frac{\epsilon}{\epsilon_0})^{KT/0.14}$
3. Strip size	thickness (H) : 3.2 mm width (W) : 1500 mm
4. Reduction (r) :	20 ~ 50 %
5. Back tension ( $\sigma_b$ ) :	0.9 kgf/mm <sup>2</sup>
6. Rolling speed ( $V_1$ ) :	100 ~ 300 m/min
7. Lubrication :	3 % emulsion of mineral oil
8. Roughness of WR :	Scratch ( 1.3 ~ 1.5 $\mu$ m Ra )

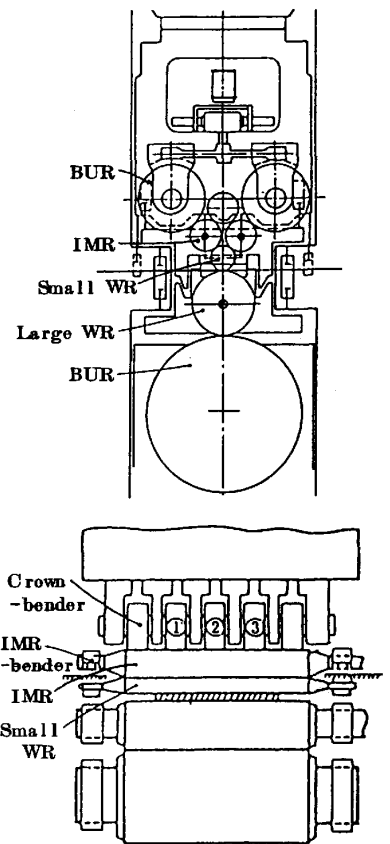


Fig.1 Asymmetric cluster mill (NMR mill)

Table 1 Roll size of asymmetric cluster mill

Upper Part(Cluster Type)	Lower Part(2Hi Type)
Small WR : $\phi 200, \phi 150 \times 1700\ell$	Large WR : $\phi 540 \times 1700\ell$
IMR : $\phi 290 \times 1700\ell$	BUR : $\phi 1500 \times 1700\ell$
Side BUR : $\phi 630 \times 250\ell \times 5$	
Center BUR : $\phi 300 \times 250\ell \times 5$	

Fig. 3に普通鋼 (SPCC) の場合の, Fig. 4に 40kgf/mm<sup>2</sup> 高張力鋼の場合の圧延荷重と圧下率の関係を示す。なお、図中には、WR径がφ523/φ525mmの場合の4重式圧延(これは、異径クラスター圧延機の上半分のクラスターロールを2重ロールに置きかえたもの)の結果をも示している。普通鋼および40kgf/mm<sup>2</sup> 高張力鋼のいずれにおいても、4重式圧延を異径クラスター圧延にすることによって、すなわち等価WR径<sup>3)</sup>(上下のWRの調平均径,  $Deq = 2D_1 D_2 / (D_1 + D_2)$ ,  $D_1$ は上WR径,  $D_2$ は下WR径)を小さくすることによって、圧延荷重は減少する。今回のようなWR径の場合には、4重式圧延を異径クラスター圧延にすることによって、圧延荷重は20~35%減少する。また、Table 3に示すように、4重式圧延を異径クラスター圧延にすることによって、圧延可能な最大圧下率は20~40%増大する。ことに、40kgf/mm<sup>2</sup> 高張力鋼のような高強度材の場合には、4重式圧延では圧延機のスタンドの強度限界と形状不良のために最大圧下率が32%であるのに対し、異径クラスター圧延機では最大圧下率は47%と大幅に増大している(この時の圧下率限界は、バックアップロールショックの強度限界とモーターパワーによって生じた)。なお、異形クラスター圧延機の場合には、クラウンベンドとIMRベンダーの形状制御機能のために、限界圧下率に達しても形状不良は生じなかった。Fig. 5に普通鋼 (SPCC) と40kgf/mm<sup>2</sup> 高張力鋼の場合の圧延消費動力と等価ワークロール径の関係を示す。4重式圧延を異径クラスター

Table 3 Max. reduction for rolling

Mill Type		4 Hi (φ523/φ525)	NMR (φ200/φ540)	NMR (φ150/φ510)
Equiv. Diam. of WR		φ 524	φ 292	φ 232
Max. Reduction	Mild C. Steel	47%	56%	56%
	High T.S. Steel	32%	47%	47%
Factors of Limit		Shape, Load	Power, Load	

減少する。

4. 形状制御特性

異形クラスター圧延機を冷間タンデムミルの最終スタンド(第5スタンド)に組み込んで、形状制御の実験を行った。Table 4にその時の圧延条件を示す。圧延材料は普通鋼(SPCC)

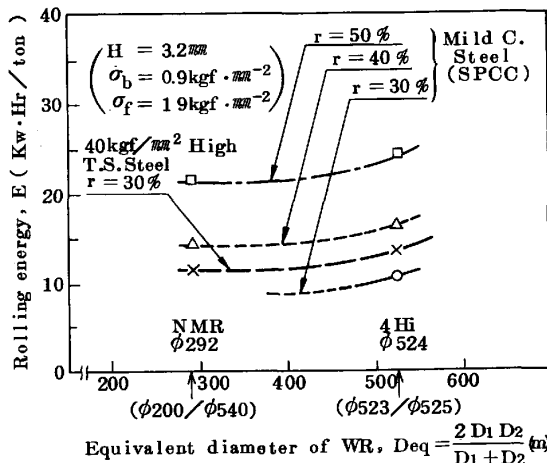


Fig. 5 Relation between rolling energy and equivalent diameter of WR

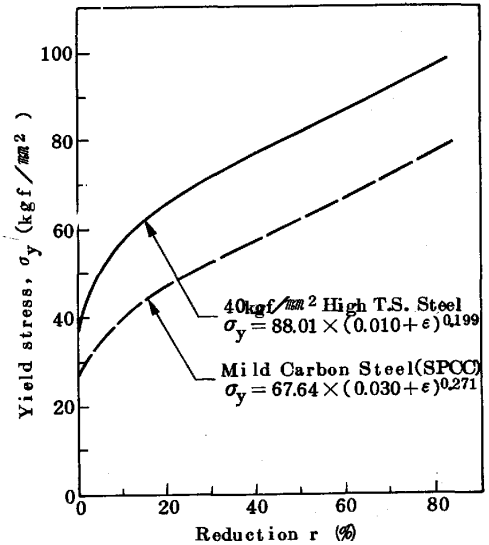


Fig. 2 Relation between yield stress and reduction

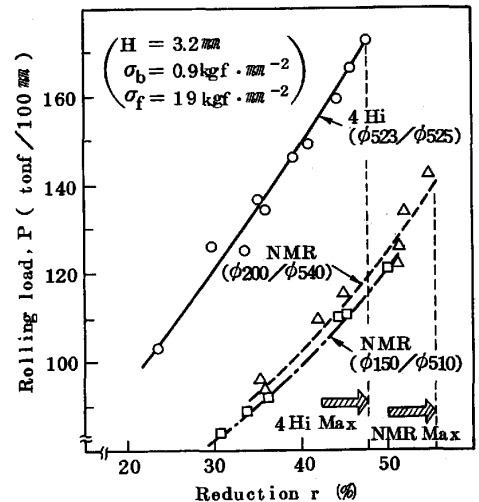


Fig. 3 Relation between rolling load and reduction (Mild carbon steel)

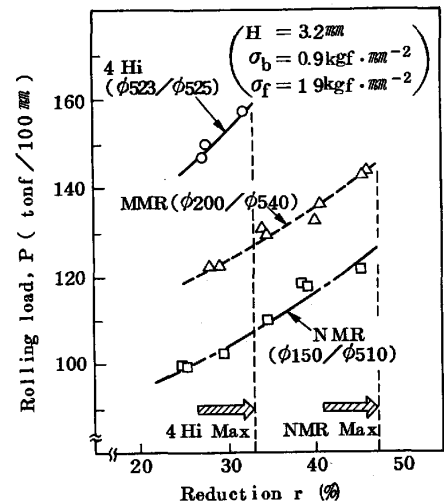
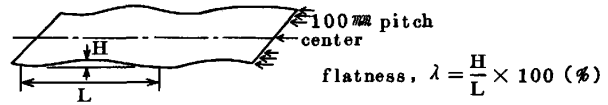


Fig. 4 Relation between rolling load and reduction (40kgf/mm<sup>2</sup> High T.S. Steel)

であり、タンデムミルの第4スタンドまでに0.7mmまで圧延した冷延板を異径クラスター圧延機でさらに圧下率約14%の圧延を行った。圧延した板の形状測定と形状評価の方法をFig. 6に示す。形状測定に関しては、板幅方向に100mmピッチで急峻度( $\lambda$ )を実測した。形状評価は、実測した板幅方向の急峻度分布を4次の多項式に回帰させ、対称成分項を用いてFig. 6に示す( $\Lambda_2, \Lambda_4$ )座標<sup>4)</sup>で表示した。

Fig. 7に、クラウンバンドとIMRベンダーを変化させた時の形状制御特性を示す。クラウンバンドをV型に変化させると、またはIMRベンダーをインクリース側に変化させると、形状は端伸びから中伸びへ変化する。しかしながら、クラウンバンドとIMRベンダーの形状変化のベクトルは若干異なっており、IMRベンダーを変化させて求めた形状特性曲線は、V型クラウンバンドの増加とともに $\Lambda_4$ で負側の方に移動する傾向を示す。Fig. 8にクラウンバンドをV型からW型に変化させた時の形状制御

1. Measurement of strip shape



2. Evaluation of strip shape

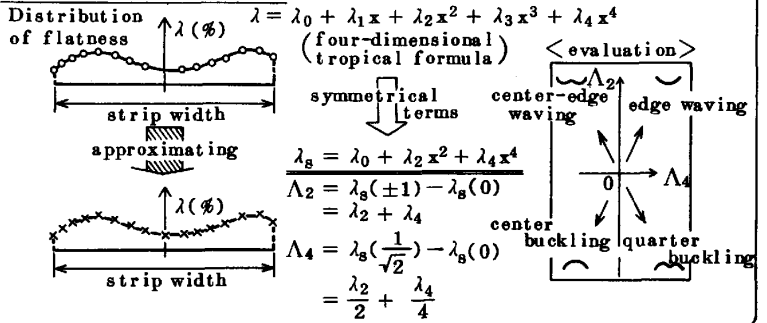
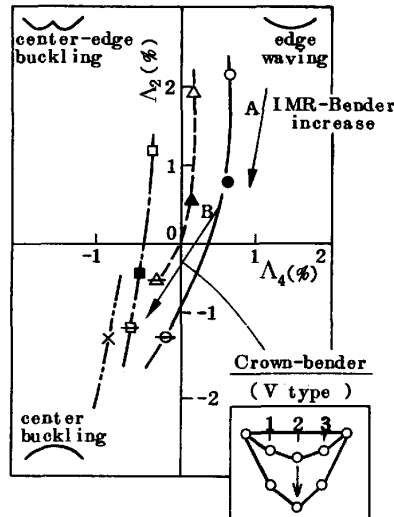


Fig. 6 Measurement and evaluation of strip shape

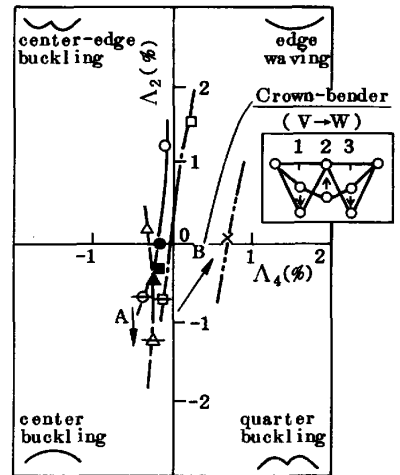
Table 4. Rolling condition

1. Position of stand :  
Final stand (№5) in cold tandem mill
2. Roll size (All rolls are flat)  
Large BUR :  $\phi 1500 \times 1700\ell$   
Large WR :  $\phi 540 \times 1700\ell$   
Small WR :  $\phi 200 \times 1700\ell$   
IMR :  $\phi 290 \times 1700\ell$   
Side BUR :  $\phi 630 \times 250W \times 5$   
Center BUR :  $\phi 300 \times 250W \times 5$
3. Driving method :  
Single drive rolling (only large WR)
4. Function of shape control  
① Crown - bender  
Max. amount of extrusion : 2.0mm  
② IMR - bender  
Max. 50.7 tonf/chock
5. Materials : Mild carbon steel (SPCC)  
Mother thickness ( $H_0$ ) : 2.8mm  
Entry thickness (H) : 0.7mm  
Strip width (W) : 1529mm  
Strip crown : 58  $\mu\text{m}$
6. Rolling condition at №5 Stand  
Reduction (r) : 14 %  
Tension :  $\sigma_b = 24 \text{ kgf/mm}^2$   
 $\sigma_f = 6 \text{ kgf/mm}^2$   
Rolling speed ( $V_5$ ) : 350 m/min



	IMR -bender	crown-bender ( $\mu\text{m}$ )		
		①	②	③
○	9.7	71	98	62
●	19.3	"	"	"
⊖	38.6	"	"	"
△	7.2	138	193	133
▲	14.5	"	"	"
△	24.1	"	"	"
□	2.4	208	292	208
■	12.1	"	"	"
⊖	19.3	"	"	"
×	9.7	273	382	273

(IMR-bender : tonf/chock)



	IMR -bender	crown-bender ( $\mu\text{m}$ )		
		①	②	③
○	7.2	200	280	200
●	12.1	"	"	"
⊖	19.3	"	"	"
△	0	357	280	391
▲	12.1	"	"	"
△	19.3	"	"	"
□	0	357	203	393
■	12.1	"	"	"
⊖	19.3	"	"	"
×	21.7	357	2	386

(IMR-bender : tonf/chock)

Fig. 7 Characteristics of strip shape

Fig. 8 Characteristics of strip shape

特性を示す。IMRベンダーを一定にしてクラウンバンドを変化させた場合、すなわち#2分割ロールを固定して#1と#3分割ロール変化させると (Fig. 1 参照), 形状は Fig. 8 の中に示したAの方向に変化する。#1と#3分割ロールを固定して#2分割ロール変化をさせると

( Fig.1 参照 ), 形状は Fig.8 の中に示した B の方向に変化する。このことは, クラウンベンドと IMR ベンダーを組み合わせることで, 複合伸び ( 中端し伸び, 2.4 番伸び ) の形状を制御することが可能であることを示している。また, このような形状制御性は, 当然のことながら, 高張力鋼板の圧延においても期待することができる。

5. その他の特性

Fig.9 に, 同一の圧延機スタンドに組み込んだ時の異径クラスター圧延機 ( ロールサイズは Table 1 参照 ) と 4 重式圧延機 ( WR :  $\phi 525$  mm, BUR :  $\phi 1500$  mm ) におけるミル定数と板幅の関係を示す。ミル定数は, あらかじめ所定の幅の材料をかみ止めて, 400~700 tonf の荷重をかけ, その時の荷重と油圧シリンダーの変位から求めた。4 重式圧延機を異径クラスター圧延機にすることによって, 板幅 1000 mm でのミル定数は約 20% 減少する。一方, Fig.3 に示した圧延荷重の結果によると, 異径クラスター圧延機の塑性係数は 620 tonf/mm であり, 4 重式圧延機の塑性係数 990 tonf/mm に比べて約 37% も減少する。したがって, Fig.10 に示すように, 異径クラスター圧延機の板厚精度は, 4 重式圧延機の板厚精度に比べてほとんど差がないことが分かる。

Fig.11 に, 通板したストリップ先端の L 反りと圧下率の関係を示す。異径クラスター圧延において粗度がほぼ同程度のスクラッチロールを上下 WR に用いると, ストリップ先端で小径 WR 側に大きく反った L 反りが発生する。しかし, 小径 WR に粗度のあらいダグロールを用いると, 反りの方向が変化して L 反りが減少し, 上下 WR にほぼ同一の粗度を用いた 4 重式圧延とほぼ同程度の反りとなる。このことから, 異径クラスター圧延機において上下 WR の粗度を調整すれば, 通板時における反りの問題はほぼ解消することが分かる。

6. 結 言

異径クラスター圧延機で高張力鋼と普通鋼を圧延した時の圧延特性や形状制御特性などを調べた。その結果, 異径クラスター圧延機は, 4 重式圧延機に比べて高圧下率での圧延が可能であるだけでなく, 良好な形状制御も可能であることが明らかになった。また, 異形クラスター圧延機は, 高張力鋼などの高強度材を高圧下率で圧延するのにも適していることが判明した。

<参考文献>

- 1) 川並 他: 第 32 回塑加連講論, (1981), 101.
- 2) 川並 他: 塑性と加工, 23 (1982), 1216.
- 3) Sacks & Klingler: J. Appl. Mech., 14 (1974), 88.
- 4) 戸田 他: 第 29 回塑加連講論, (1978), 97.

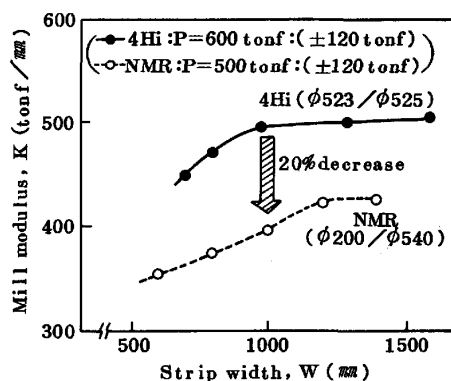


Fig.9 Relation between mill modulus and strip width

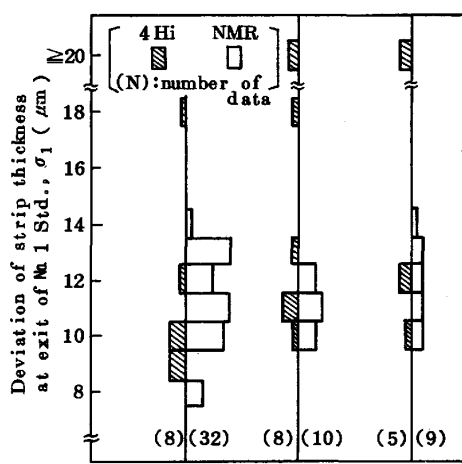


Fig.10 Comparison of deviation of strip thickness at exit of No. 1 stand of NMR with that of 4 Hi (Mild C. steel, 40kgf/mm<sup>2</sup> High T.S. Steel)

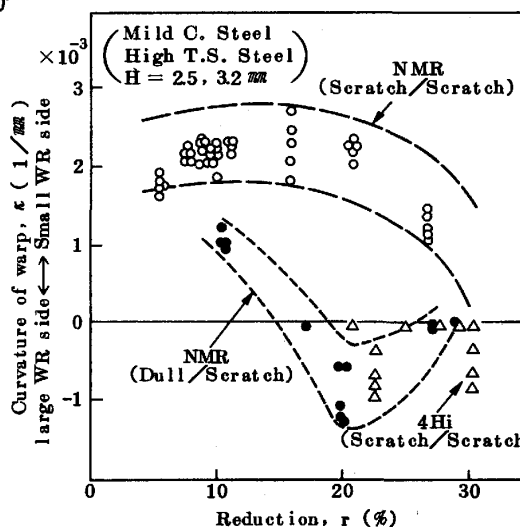


Fig.11 Relation between curvature of warp in rolled strip and reduction