Sendzimir 20 段可逆冷間壓延機による各種金属および 合金の壓延に関する研究 (第 1 報) 極薄板に現われる“模様”に関する研究*

田 中 英八郎** 吉 識 忠 繼**

Eihachiro Tanaka and Tadatsugu Yoshiki: Study on the Rolling of Melts and Alloys by Sendzimir Reversing Cold Strip Mill (1st Report). Study on the Pattern of Waves Appeared on the Metal Foils. In the rolling of metal foils by ZR 32-4 type Sendzimir Reversing Cold Strip Mill, the regularly spaced waves which were inclined to the rolling direction were sometimes observed on the strip surface. The occurrence of the phenomena was investigated. The results obtained are summarized as follows: (1) The occurrence of the waves was dependent on the front tension, but not the back tension essentially. (2) The critical values of front tension above which the waves could be suppressed had no relation to the materials of work roll. (3) The patterns of the waves were independent of one pass reduction. (4) No differences in microscopical or radiographical observation could be detected between the regions of waves and of no-waves. (5) The waves were thought to be a kind of the center buckling of strips, but neither to be the stretcher strain produced in aluminium alloys and mild steel, nor to be the herring-bone marking observed on copper alloys.

(Received August 7, 1956)

I. 緒 言

Sendzimir 20 段可逆冷間壓延機は金属および合金の極薄板を造る目的をもつ壓延機である。本機で極薄板を壓延製造する時に製品に種々の欠陥が現われることがある。ここで述べる“模様”もその欠陥の一つである。

20 段壓延機で箔がある条件で壓延する場合に Photo. 1

Photo. 1 The typical patterns of the waves appeared on 18-8 stainless steels.

に示すような壓延方向とある角度をもつた波型の模様が現われる。この模様は一見 Al 合金などに現われる stretcher strain⁽¹⁾⁽²⁾ や銅合金に現われる herring born⁽³⁾⁽⁴⁾ に似ているが、stretcher strain は軽度の冷間壓延で消失すること herring born は大いさがるか小さい点でこれらの現象とは原因を異にすると思われる。この模様は壓延が進み板厚が薄くなるにつれて壓延方向となす角度は減少し波型の山と山との pitch も減少する。その様子は例えば Photo. 1 でよく認められる。Photo. 1 は 18-8 不銹鋼に現われる模様で (a) (b) (c) (d) それぞれの板厚、壓延方向となす角度、山と山との pitch を總括して Table. 1 に示す。

Table 1 Explanation of photo. 1.

Photo.	Thickness of strip	Angle to the rolling direction	Pitch of the waves
(a)	0.120 mm	about 69 degree	10.0 mm
(b)	0.075 "	56	5.8 "
(c)	0.050 "	50	4.1 "
(d)	0.032 "	39	2.8 "

現在までに本機で壓延した金属および合金は低炭素鋼、高炭

** 東北大学金属材料研究所

* 1956 年 4 月本會東京大會に發表

- (1) V. A. Phillips & A. J. Swain, J. Inst. Metals, **81** (1952-3), 625.
- (2) B. B. Hundy, Sheet. Met. Ind., (Nov. 1954), 909.
- (3) M. Cook & T. L. Richards, J. Inst. Metals, **66**(1940), 1.
- (4) C. H. Samans, J. Inst. Metals, **55**(1934), 209.

素鋼, 珪素鋼, 18-8 不銹鋼, パーマロイ, 70/30 黄銅, Be-Cu 合金, 燐青銅, 純 Ti, 純 Ni, コンスタンタン, 17S, Al-0.5% Mg 合金であるが, これらすべてに模様が生じた。

この模様が現われれば箔はすべてスクラップになるので製造上重大な問題である。著者らはこの現象を研究し, 発生条件, 発生防止法を調べ, 発生機構に対する考察を試みた。

II. 模様発生と張力との関係

1. 前方張力 (T_f)

本機で各種材料を圧延する場合, 経験上模様の発生は前, 後方張力に関係があるように思われたので, まず前方張力の影響を定量的に調べた。すなわち各パスについて前方張力を種々に変化せしめて模様が現われるか現われないかを観察した。この結果, 前方張力が比較的小さい場合に現われ張力を増加してある前方張力に達すると模様のない薄板を圧延出来ることが判った。測定結果を Fig. 1 に示す。圖の

Fig. 1 Relation between the rolling degree and the minimum front tension which eliminates the waves (min T_f).

縦軸は模様のない箔を造るに必要な最小前方張力 $\min T_f$ を示し横軸に冷間圧延度を探っている。

圧延度が増加するにつれて $\min T_f$ も増加している。実際に圧延を行う場合この圖の曲線より高いくつ圧延材の弾性限より低い前方張力をかければ模様の現われない箔をつくる事が出来る。

2. 後方張力 (T_b)

模様の発生が前方張力と密接な関係があることが明白になったので, 次にこの前方張力をパラメーターとして後方張力との関係を調べた。使用した材料は 0.03% 炭素鋼である。各パスごとに後方張力を種々に変え, その各々の後方張力に対して $\min T_f$ を測定した。Fig. 2 は横軸に後方張力 T_b を, 縦軸に $\min T_f$ を探つて実験結果を圖示した。第 1, 第 2 パスでは T_b の増加につれて $\min T_f$ も増大している。第 3, 4, 5 パスになると T_b が変化しても $\min T_f$ は不変である。ここで注意すべきことは第 1 パスでは後方張力

の増大につれて板厚が小さくなる。すなわち加工度が大きくなる。Fig. 1 に示したように $\min T_f$ は圧延度の増加と共に大きくなる。第 1 パスでは板厚が減少しているので前方張力が増加するのは當然である。第 2 パスについても同様のことがいえる。第 3 パス後は後方張力の増加により板厚は不変でまた $\min T_f$ も不変である。すなわち Fig. 2 から模様の消える最小前方張力は後方張力に無関係であり, 模様発生に後方張力は本質的には影響しないことが判った。

Fig. 2 Effect of back tension on min T_f .
Material : 0.03 % C steel
( ) : Thickness of strip in mm.

III. 模様発生に対する仕事ロールの材質の影響

上述の実験により模様発生に關し前方張力が敏感に効くことが判つたので $\min T_f$ を基準として仕事ロールの材質の影響を調べた。

本機の仕事ロールは直径 1/4 in. 長さ 5 5/8 in でロールの材質は (a) 1.5% C-12% Cr 鋼, (b) W-V-焼結合金で弾性率はそれぞれ (a) 21,100 kg/mm², (b) 54,200 kg/mm² である⁽⁵⁾。

著者らはこの 2 種の仕事ロールを使用して 0.03% 炭素

Fig. 3 Relation between min. T_f and the material of the work rolls. (Material : 0.03 % carbon steel).

鋼板を圧延し各パスごとに前方張力を種々に変化せしめ模様の発生状況を観察した。なお仕事ロール (b) は硬質合金用のもので (a) に比較して扁平變形量も小さく材料の先進率も少い。実験の結果の $\min T_f$ を圧延度に対して圖示したものが Fig. 3 で圖中×印は (a) の仕事ロールを使用した

(5) 東北大學金屬材料研究所小熊一郎助教授の測定による。

場合、●印は (b) ロールである。兩者とも $\min T_f$ はほとんど一致することにより模様の發生はロールの材質には無関係であり、またロールの扁平變形先進率の差にも無関係であることが判つた。

IV. 1 回バスの壓下率と $\min T_f$ との関係

次に各バスごとに種々の crown のロールを使用して 1 バス壓下率を変え、これが $\min T_f$ に影響するかどうかを観察した。壓延材は 0.03 % 炭素鋼板で、用いたロールの crown は 0, 0.0009 in, 0.0015 in の 3 種で後方張力を一定とし壓延壓力は各 crown に適合するようにとつた。結果を Fig. 4 に示す。横軸は板厚をとり縦軸に前方張力をとつてゐる。圖中●印は第 1 バス、×印は第 2 バス、▲印は第 3 バス、■印は第 4 バスを示す。なお模様の發生しない場合の値は○印で圍んでいる。各バスごとに壓延前の板厚は一定

Fig. 4 Influence of one pass reduction to $\min T_f$. (Material : 0.03 % carbon steel).

は模様の發生には無関係であると思われる。

V. 模様の現われた薄板と現われない薄板との顯微鏡, X線による比較

次に模様の發生が箔の金屬組織に影響を與えるか検討するために薄板を顯微鏡並に X 線で調べて見た。

0.03 % 炭素鋼の模様の現われた薄板と現われないものとを 400°, 600°, 1000° の各温度で 1 hr 眞空爐中で焼鈍し研磨後 5 % nital 液で腐蝕して組織を観察した。一例を Photo 2 に示す。これは兩者の比較であるがこの顯微鏡寫眞を見ると兩者にはほとんど差異が認められない。

また一方鐵の對陰極を用い X 線を試料に直角に當て透過法で寫眞をとつた。一例を Photo 3 に示す。(a) (b) は壓延のまゝで (c) (d) は 600° で 1 hr 焼鈍したものであり (a) (c) は模様の現われている薄板、(b) (d) は現われていないもので兩者の間の相異は認められない。

VI. 模様發生原因および機構に対する一考察

上述の如く模様のあるものもないものも顯微鏡的, X 線的には何ら異なる點がないことが判つた。これは材料の不均

Photo. 2 Microstructures of strip.

- (a) 70/30 brass, as rolled, thickness of strip 0.090 mm, waves.
- (b) 70/30 brass, as rolled, thickness of strip 0.090 mm, no waves.
- (c) 0.03 % C steel, 600° × 1 hr annealed, 0.038 mm thickness waves.
- (d) 0.03 % C steel, 600° × 1 hr annealed, 0.044 mm thickness no waves.
- (e) 0.03 % C steel, 1000° × 1 hr annealed, 0.038 mm thickness, waves.
- (f) 0.03 % C steel, 1000° × 1 hr annealed, 0.044 mm thickness, no waves.

一變形に原因すると思われる。

すなわち模様の發生状況を詳細に観察すると模様は壓延材が中延びになつた場合にのみ現われる。中延びを起した部分は變形が抑制され巾、長さ方向には延びられず等間隔の曲りを生ずる。この發生の初期の一例を Photo 4 に示す。これは 18-8 不銹鋼を壓延した場合 0.150 mm 厚の時に現われたものでこれを模型的に Fig 5 のように示す。圖の白色部は彎曲部の山部で、黑色部は谷部となり板の長さ方向にも波型になつてゐる。これをさらに壓延をつづけると山と山の部分、谷と谷の部分が連結して Photo 1 に示した

Photo 3 X-Ray diffraction patterns of strip.

- (a) 0.03 % C steel, as rolled, waves.
- (b) 0.03 % C steel, as rolled, no waves.
- (c) 0.03 % C steel, 600°×1 hr annealed, waves.
- (d) 0.03 % C steel, 600°×1 hr annealed, no waves.

Photo 4 The pattern of waves in the early stages. (18-8 stainless steel; 0.120 mm thick).

部はたんで張力が加わらず端部だけに加わり、端部が塑性變形して中央部と同じ厚みになるとこのような波はなく

ような壓延方向とある角度をもつた波型の模様となる。

中延びの起つている薄板に前方張力をかけると薄板の中延び

なる。故に前方張力を増加すれば模様が消えるわけであり、後方張力には無関係である。

Rolling Direction

Fig. 5 Schematic diagram of the pattern of waves in the early stages.

は精密に研磨仕上を行つてもわずかな凹凸部があり、凸部に接した部分は中延びの現象を起して上記のような部分的な模様となる。

VII. 総 括

Sendzimir 20 段可逆冷間壓延機で素材壓延中に現われる模様について研究し次の結果を得た。

- (1) 模様の発生は前方張力に関係し後方張力には無関係である。
- (2) 模様の消える最小の前方張力は仕事ロールの材質には無関係である。
- (3) 模様は 1 バスの壓下率には無関係に現われる。
- (4) 模様の発生した部分と発生しない部分とでは X 線的、顕微鏡的に差異は認められなかつた。
- (5) 模様の発生は壓延材の中延びに起因すると思われる。

本研究に當り終始御懇切な御指導を戴いた東北大學金属材料研究所鳥羽安行教授、ロール弾性率の測定を新方法で試みられた小熊一郎助教授、終始實驗の勞をとられた幡谷文男氏、福田武司氏、佐藤 宏氏、および當時金屬工學科學生渡邊 齊君に深甚の謝意を表する。