

討7 圧延板の形状とロールの形状について

東北大学 金属材料研究所 ○田中英八郎
 雄路工業大学 産業機械科 吉誠忠経

1. 緒言 最近、高性能プレス機械を採用している薄板二次加工メーカーからの要求で圧延板の長さ方向の板厚公差や平坦さなどの寸法的な要求がますます厳しくなる傾向にある。プレス成形素材の帯板の板厚および板中が変化したり、帯板がボウイング(Bowling)を起しているとき成形工程に種々の支障が生じ、折角の自動化され高速化されたプレス機械もその性能が十分に発揮できない。

小型部品の成形素材としては広中の帯板を細いテープ状にマルチ・スリッテングを行なって使用することが多いが、このとき広中の帯板の形状(平坦さ)が悪ければスリッテングした後のテープはボウイングを起し、ボウイングの弯曲の大きさは板の平坦さと密接な関係がある。

衆知の如く、硬質材料の広中、薄板圧延にはロール直径の小さい多段圧延機が使用されるが、ロール直径が小さい場合には平面圧縮の状態から程遠いため、ロール直径の大きい圧延機に比べて圧延される板の平坦さが著しく悪くなる本質的な欠点をもっており、ロール研削精度、ロール・フラウン、圧下力などの不調正が直ちに不均一延びの原因となり、圧延板の平坦さに著しい影響を及ぼす。

圧延板の形状に關する因子としては、素材の形状、ロール研削仕上がり度、ロール形状、圧延時の前方張力、熱発生によるロール膨脹、潤滑油、ロール摩耗など多くの因子が考えられる。

本研究は、小径ワーク・ロールをもつセンゲミーヤ20段圧延機(ZR32-4)で平坦な薄板を得るための圧延条件を基礎的に研究するため、最も基本的な因子であるロール形状と圧延される板の平坦さの関連について実験的解析を行なった。

2. 実験方法 および結果 センゲミーヤ圧延機ではコイルをリールにセットして圧下を行ってから圧延を開始する。静的に圧下をした後、screw-upすると素材にロール圧痕が残る。ロール圧痕のプロファイルと板の平坦さは密接な関係があることが推察できる。すなわち、素材が矩形断面であれば圧痕が大鼓型では中延びとなり、糸巻き型では端延びとなり、平行な圧痕の場合に平坦な板が圧延できることは容易に推定できる。

2.1 適正なワーク・ロール・フラウンの形状 : 上述の推定のもとに、矩形断面の素材(0.067%炭素鋼、 $0.20\text{mm厚} \times 100\text{mm中}$ 、板中方向の板厚変化 0.001mm 以下)を作り、静的に圧下を行ないロール圧痕中の板中方向の分布----以下“圧痕中分布”と呼ぶ----を測定した。実験に使用したワーク・ロールの形状は図1に示す放物線型、円型、角型のフラウンをもつもので他のバック・アップ・ロールはすべてFlat Rollである。素材をパス・ラインの中心に合致するようにハウジング入口、出口に案内を設け、短尺(1m)の板に圧下力を1.0~7.0 Tonの範囲で変化させ圧痕をつけた。圧痕中の測定は読み取り顕微鏡を使用した。測定場所は板端から1, 10, 20, ..., 80, 90, 99 mmの場所である。

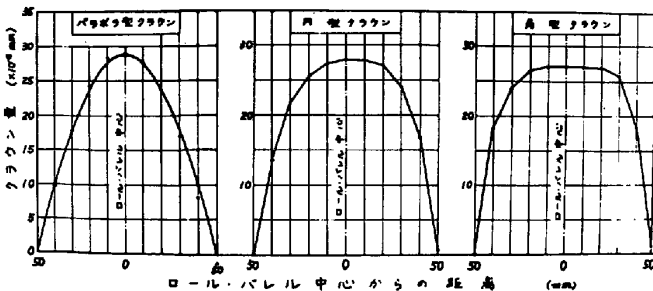


図1. 実験に使用したワーク・ロール・フラウンの形状

各ロールについて圧下力を増加させたときの圧痕中分布を図2に示す。上側ワーク・ロールはフラット・ロール、下側に図1のフラウン・ロールを使用した。板の表裏の圧痕中分布は全く同じであった。図2から気付くことは、圧痕中分布は板の中心に対して非対称であることである。これは素材断面やロール・フラウンの非対称によるものではなく、

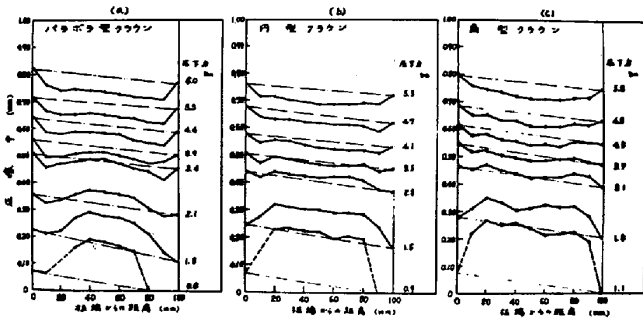


図2 静的圧下による圧痕中分布とロール形状との関係

板中全体に渡って圧痕中がほぼ等しく2稜鎖線に近似し、それ以上の圧下力となると板端の方が中央より大きくなる。次に、各ロールについて中程度の圧下力(3.1~3.7 ton位)における圧痕中分布を比較すると放物線型では板端から10, 90mmの場所の圧痕中が小さく、板端と中央が最大である。円型、角型ではこのような傾向は少ない。すなわち、中程度の圧下力における圧痕の平行度の順序は(2稜鎖線との合致の程度)、円型→角型→放物線型と悪くなり、2段圧延機で適正な形状であるとされている放物線型クラウンはセンゲミーヤ圧延機では適正ではなく、円型クラウンの方がより適正な形状であることが明白である。なお、圧痕中分布と圧延した薄板の延び方は良い対応性をホシ、放物線型の中程度の圧下力で圧延した場合には中延びと端延びの共存した板が圧延され平坦度は著しく悪かった。

多段圧延機では、ロール支持機構が複雑であり、ロール弯曲の曲線や接触変形によるパレル方向の変位分布を厳密に求めることは困難である。ここでは静的圧下時の圧痕が板の塑性条件とロールの弾性条件を満足したものと考え、ワーク・ロールをフラットロールにしてロール圧痕をつけ、圧痕深さの板中方向の分布を求めた。ロール・パレル方向の扁平変形の差はないことを圧痕断面のプロファイルの測定から確かめ $R/r = 1.2$ として圧痕中から圧痕深さを計算した。

図3は圧痕深さの板中方向の分布(実線)とロール・クラウンの形状と比較したもので、クラウン形状の適正度が定量的に分る。圧痕深さの分布曲線はまた上,下ロール間隙のパレル方向の分布曲線とも考えることができ、平坦な薄板の圧延できる最も適正なロール・クラウンの形状であり、それと各ロール・クラウン(実線)と比較することにより適正度が定量的に判定できる。放物線型は実線から極端にかけ高れており、実線は円型と角型の中間にあることが分り、円型、角型の方がより適正であることが再確認された。

図3, または圧痕中分布の結果が示唆することは多段圧延機においても板側にロールが弯曲し、板端から10mmのところから急激に弯曲することである。これを実験的に確認するために、図4の如くワーク・ロールに測定棒を接着、固定し、ロール延長上の2稜で圧下に伴う下降量(δ_e, δ_m)をダイヤル・

圧延機固有の特性すなわちハウジング内部やベアリング・サドルの工作精度によるものと思われる。従って、圧痕中分布を考えるときは両端の圧痕中を結んだ2稜鎖線を規準線とし、例えば圧痕中分布と2稜鎖線の合致する条件を平行な圧痕と考えた。

図2から分ることは、いづれの型のロールクラウンでも圧下力が小さいときは板端の圧痕中が中央より小さく、圧下力が一定圧下力に増加すると

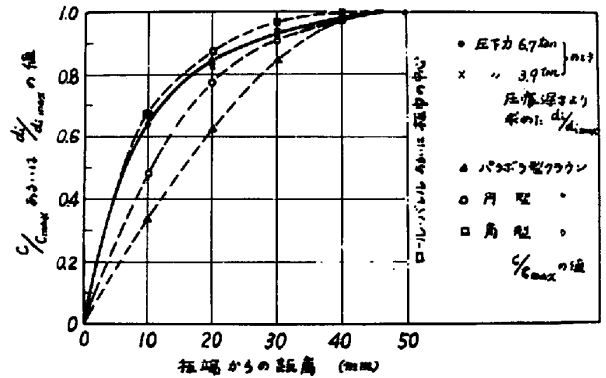
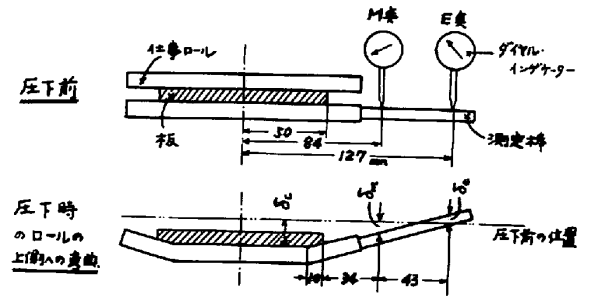


図3. 圧痕深さの分布曲線とロール・クラウン形状との比較



$$\delta_c = \delta_m + \frac{\delta_e}{2} (\delta_m - \delta_e)$$

R.F.L. 降下した方と正とは。

図4. 静的圧下時のワーク・ロール弯曲の測定法。

インゲケータで測定した。結果の詳細は発表時にゆづるが、上側、下側ロールにクラウン、フラット、ロールのいづれの組合せを採用しても $\delta_e < \delta_m$ であり、図4の下図の如く弯曲する傾向があることが確かめられた。また、 δ_e 、 δ_m の値から計算した δ_c の値は上、下ロールの組合せに拘らず、すべて同一の値で、接触変形による全変位量の値とほぼ一致している。すなわち、ロール中央部では接触変形による各ロールの相対接近により降下し、板の端部から急激に板側に弯曲する弾性変形が生ずるものと考えられる。

2.2 才1中周ロールの形状と平坦な薄板の得られる圧延条件：薄板の冷間圧延においてはワーク・ロールにクラウン・ロールを使用する代わりに、才1中周ロールにテーパ・ロールを採用し、ワーク・ロールにはフラット・ロールを使用する方法があることは衆知である。しかし、才1中周ロールの形状と板の平坦さの関係については系統的な研究は少ない。

薄板の平坦さにおよぼす才1中周ロールの形状の影響を実験的に検討するために、平行部長さ(F)、テーパ量(T)の異なるロールを研削し、それぞれのロールで圧延可能な範囲で変化して圧延を行ない、圧延板の平坦さを観察した結果を図5に示す。図5は低炭素鋼の0.055mm厚×100mm中(68.7%圧延材)を素材としたもので板の延び方を定性的に表示している。図から、比較的平坦な薄板の圧延できるものは平行部長さが長い(3/4F, または3/2F)ものが、平行部長さが短かくてもテーパ量の少ないもの(3/4F, 0.002T)であることが判明する。平行部長さが短かくテーパ量の大きいものは、テーパ肩部に対応する部分が極端に延びており平坦さが著しく悪くなった。

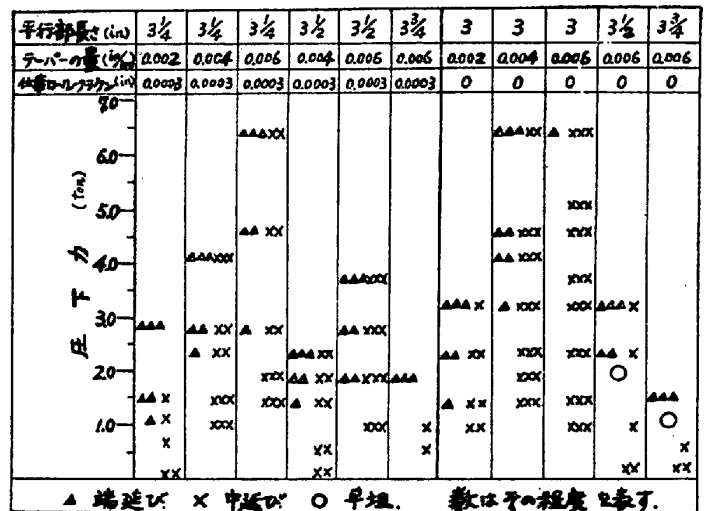


図5. 才1中周ロール形状の圧延板の平坦さに関する影響。(前打張力 15kg/mm², 後打張力 20kg/mm²)

次に軟い素材を使用して大巾に圧下力を変化させ平坦な薄板の得られる圧下力、1パス圧下率とロール形状との関係を調べた。厳密にはすべてのロールで平坦な薄板は得られないが、圧下力を増加して

表1. 比較的平坦な薄板の得られる圧下力、圧下率におよぼすロール形状の影響。

平行部長さ in	テーパの量 in/in	1パス圧下率 %	圧下力 ton
3	0.002	21.5	20
	0.004	43.1	3.4
	0.006	45.0	4.7
3/4	0.002	13.2	1.2
	0.004	30.6	1.7
	0.006	41.0	2.7
3/2	0.002	9.7	0.73
	0.004	11.1	1.2
	0.006	13.2	1.6
3	0.002	6.3	0.73
	0.004	8.3	1.2
	0.006	9.4	1.5

注：端延びは現われず
前打はスタンピング機、0.100mm厚×100mm

端延びの現われ始める条件とそのロール形状で最も平坦な薄板の得られる圧下力(P_f)と仮定して結果を整理した。たゞし、この実験ではワーク・ロールはフラット・ロールである。表1はその結果で最後の項はP_fの値である。この結果から分ることは、平行部長さが同一であればテーパ量が大きくなるほどP_fは増加し従って1パス圧下率も大きくなる。一方、テーパ量を同一にとって比較を行なうと平行部長さが長くなるほどP_fは小さくなる。

2.1において静的圧下による圧痕中分布と薄板の平坦さ、あるいは延び方とよい対応があることが分っているが、才1中周ロールにテーパ・ロールを使用してもこのことが成立するかどうかを検討すると共に、才1中周ロールの形状の圧痕中分布に及ぼす影響を調べた。素材、圧下条件、圧痕中分布の測定法は前と全く同一である。

図6(次頁)は平行部長さを一定としてテーパ量の影響を示した

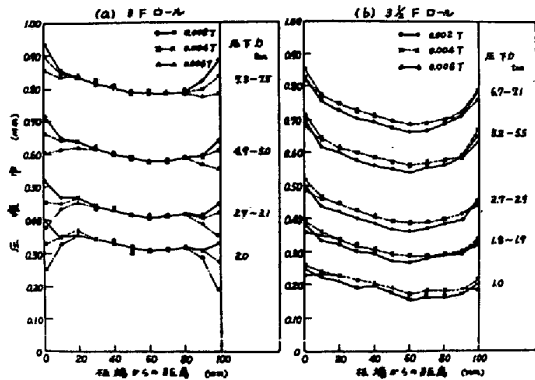


図6. 圧痕中分布におよぼすテーパ量の影響

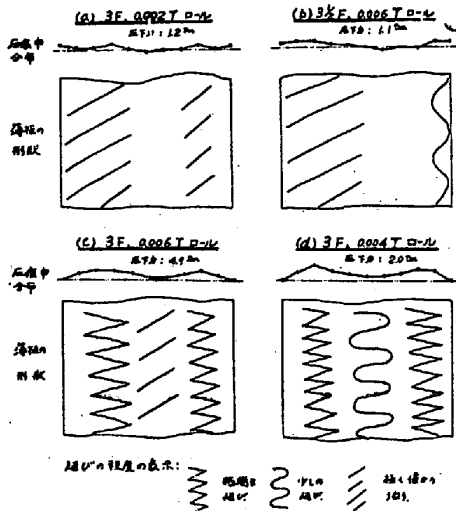


図7. 圧痕中分布から薄板の延び方の推定

数本組合わせて使用することも考えられる。この2つの方法で圧延した。一例として平行部長さが3/4Fでテーパ量が0.0189Tのロール1本と3/4F, 0.0065Tを3本を使用した場合とを比較すると前者は著しい端延びを生じたのに反し、後者では端延びは余り生じなかった。すなわち、大きい圧下率を得て平坦な薄板を圧延するためにはテーパ量の小さいものを組合わせて使用の方が有効である。

なお、テーパ・ロールを使用した場合のワーク・ロールの弯曲は、ロール形状によりテーパ肩部から第1中間ロール側に弯曲するものと、板側に弯曲する場合があることを認めたが詳細は発表の時にゆづる。

3. 総括

小至ワーク・ロールをもつセンゲミーヤ20段圧延機で平坦な薄板を得るためにロール形状に因りて実験的解析を行なった。結果は次の如く總括することができる。

1) 静的圧下によるロール圧痕中の板中方向の分布(ロール圧痕の形状)は圧延した薄板の平坦さと良好な対応性を示し、圧痕中分布の解析から平坦な薄板の得られるワーク・ロールクラウンの形状を決定した。この形状は従来、2段圧延機には適正なクラウンであるとされていた放物線型ではなく、円型あるいは角型に近似している。

2) 第1中間ロールの形状と平坦な薄板の得られる圧延条件について検討した。比較的平坦な薄板の得られる圧下力(P_f)は平行部長さが一定であればテーパ量の大きいほど P_f は大きく、従って1パス圧下率も大きい。薄板の平坦さという観点からは平行部長さが長い方が、テーパ量が小さい方がよく、大きい1パス圧下率を得るにはテーパ量を大きくするより、テーパ・ロールを組合わせる方が有効である。

もので、ほぼ同一圧下力について比較を行なっている。
 a) 図から明白に分るようにテーパ肩部から中央(板端から20~80mm)に渡る圧痕中分布は圧下力が同一であればテーパ量の大小に拘らず同一であり、テーパ量によって異なるものは板の端部の圧痕中分布である。すなわち、テーパ量が大きくなるにつれて圧痕中は小さくなりテーパ量による圧痕中の順序は圧下力が大きくなって不変である。ここで注意すべきことは、中央部の圧痕中分布は同じでも板の延び方は、板の両端の圧痕中を通じた規準線と圧痕中分布との差で表わされるので同一圧下力においてはテーパ量が異なると圧延板の形状は著しく差異がある。

この圧痕中分布の結果をもとにして板の延び方の推定図を描くと図7の如くなる。図のa), b) は圧延した場合に平坦な板の得られるロールであるが、圧痕中分布から推定しても規準線とよく一致しており形状はよいことが分る。また、平行部長さが短い3/4Fロールでは(c), d) 図テーパ肩部に対応したところに異常延びが現われることが明白に分り、圧延した板の形状と合致している。

表1または図5から分るように平坦な薄板の得られるロール形状はいつでも P_f が小さく、1パス圧下率も小さい条件である。大きい1パス圧下率を得る方法はテーパ量を大きくするもの1つの方法であるが他の方法は小さいテーパ・ロールを