

非対称複合圧延に関する研究・2

——数値計算結果の検討——

Study on Complex Asymmetrical Rolling・2

——Discussion on Some Numerical Calculations——

木 内 学*・黄 永 茂*

Manabu KIUCHI and Yeong-Maw HWANG

1. はじめに

圧延圧着加工において、材質の異なる二種類以上の板材が接合する際の変形機構は、上下素板の厚さ比、変形抵抗比、摩擦定数、上下ロールの周速比、圧下率、等の塑性力学的要因と、材料相互の金属学的特性や表面に関する物性的要因によって、影響を受けるものと考えられるが、その機構の詳細についてはいまだ不明な点が多い。従来より行われてきた研究は、鈴木ら¹⁾、中島ら²⁾、による研究を除き、実験的なものが多く^{3)~7)}、また、それらの研究は個別的・部分的なものであり、この問題に関して、体系的な知見を与えるものではない。

本研究は、圧着圧延における素板の塑性力学的変形挙動の解明を目指しており、前報⁸⁾では、材質の異なる二種類の素板より構成されたクラッド板の複合圧延に関する汎用解析モデル（動的可容速度場）を提案し、その妥当性について検討した。本報では、これらクラッド板、あるいは重ね板の複合圧延について、各種の加工条件因子が圧延後の製品の曲率、板厚比、および圧延荷重、トルクに与える影響について検討を行った。更に、アルミ板と鋼板とからなるクラッド板の圧延について実験を行い、圧下率が製品の曲率に与える影響について調べ、数値計算との比較より、解析モデルの妥当性について検討を行った。

2. 解析モデル

以下、使用記号は図1に示してあるので参照されたい。圧延前に素板界面が接合されている場合の複合圧延を対象とする解析モデル(I)を図1に示す。開発導入した動的可容速度場の詳細は前報に示したので、ここでは省略するが、その中には、被圧延材の入口速度 u_1 、上ロールの接触角 α_1 、素板の上下変形領域の割合を表す変数 ξ 、塑性変形域の長さ l が、四つの可変パラメータとして含まれており、それらの値は上界定理に基づく最適化により決定

される。加工中の素板間の界面の形状および位置は、素板の流線に完全に一致するものとして取り扱う。

圧延前に、素板界面が接合されていない場合、すなわち、重ね板の複合圧延の解析モデル(II)を図2に示す。この場合の動的可容速度場の詳細も、前報に示したのでここでは省略する。素板(a)、(b)の間のロールバイト内での界面は円弧で表されるものとしており、動的可容速度場に含まれる可変パラメータとしては、上述の解析モデル(I)で導入したパラメータのほかに、出側における素板(a)の厚さ比 ξ^* ($=t_{af}/t_f$)と仮想接触角 α_1^* を追加し、6個となる。なお、参考値として求めた荷重 P の計算は、トルクアーム係数を0.5と仮定し、次式を用いて行った。

$$P = \frac{2 \{ J^* - (T_b)_a \cdot t_{af} \cdot U_1 - (T_b)_b \cdot t_{bf} \cdot U_2 \}}{(L_1 \cdot U_1 / R_1 + L_2 \cdot U_2 / R_2)}$$

ただし J^* : 全仕事率

L_1 : 素板(a)と上ロールの接触長さ

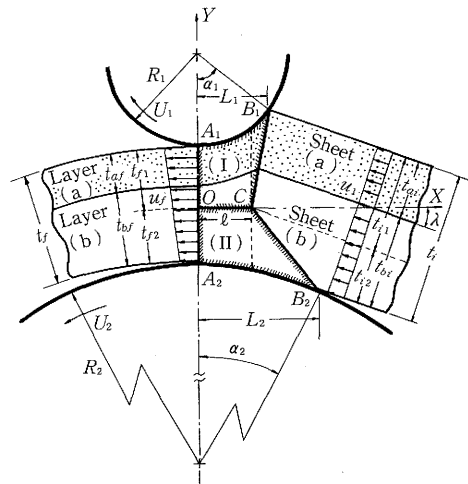


図1 非対称複合圧延解析モデル(I)

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

- L_2 : 素板(b)と下ロールの接触長さ
- $(T_b)_a$: 素板(a)に加えた後方張力
- $(T_b)_b$: 素板(b)に加えた後方張力

3. 解析結果

以下、解析モデル(II)を用い、圧延前に素板界面が接合されていない場合について、各種の加工条件因子が出側の製品の曲率、板厚比および、圧延に要するトルク、荷重に与える影響について調べた結果を示す。

3.1 上下ロール周速比と入り側板厚比を変化させた場合の解析結果

3.1.1 製品の曲率

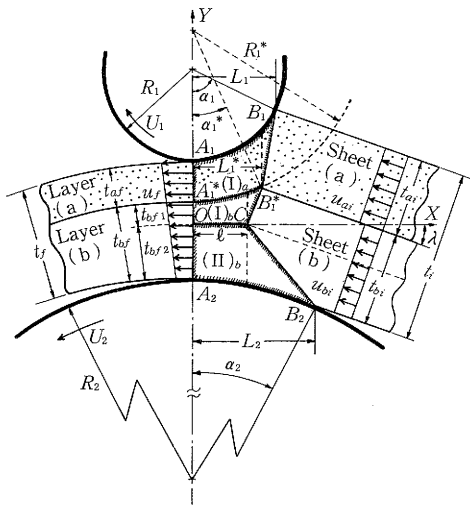


図2 非対称複合圧延解析モデル(II)

上下ロールの周速比 (U_1/U_2 , 図2参照) と出側の製品の曲率 (q_f) の関係を図3に示す。製品曲率の正負は、図2で製品が下ロール側に曲がる場合を正とする。素板(a)の厚さ比 (t_{ai}/t_i) の増加に伴って、全体的に製品の曲率 q_f が正側に移動する。また、周速比をどのように変化させても曲率を0にすることができない限界が約 $t_{ai}/t_i=0.55$ あたりに存在することがわかる。

3.1.2 製品の板厚比

ロール周速比 (U_1/U_2) と製品板厚比 t_{af}/t_f との関係を図4に示す。素板(a)の厚さ比 (t_{ai}/t_i) ≥ 0.5 の場合、周速比 U_1/U_2 の増加に伴って、出側の板厚比が増す。ところが、 $t_{ai}/t_i < 0.5$ の場合、 t_{af}/t_f は、 U_1/U_2 の増加とともにいったん増加した後減少する。すなわち、極大値を示す傾向がある。

3.2 後方張力と入り側板厚比を変化させた場合の解析結果

3.2.1 製品の曲率

図5は、素板(a)に加える後方張力 ($T_b)_a$ が曲率 q_f に与える影響を示す。素板(a)の板厚比 $t_{ai}/t_i = 0.1, 0.3, 0.5$ の場合、極小値を示すが、 $t_{ai}/t_i = 0.7, 0.9$ の場合には、極大値が存在することがわかる。素板(b)に後方張力 ($T_b)_b$ を加える場合についても同様に解析でき、 $t_{ai}/t_i = 0.1, 0.3, 0.5$ の場合、ほぼ図5と同様な傾向を示すが、 $t_{ai}/t_i = 0.7, 0.9$ の場合には、後方張力 ($T_b)_b$ の増加に伴って、単調に減少する結果が得られる⁹⁾。

3.2.2 製品の板厚比

図6は、素板(a)に加える後方張力 ($T_b)_a$ が製品の板厚比 t_{af}/t_f に与える影響を示す。後方張力 ($T_b)_a$ が増すと、製品の板厚比 t_{af}/t_f が減少することがわかる。素板

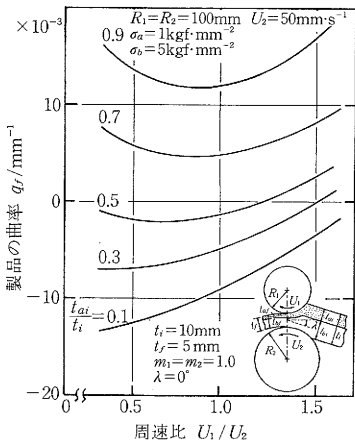


図3 ロール周速比が製品曲率に及ぼす影響

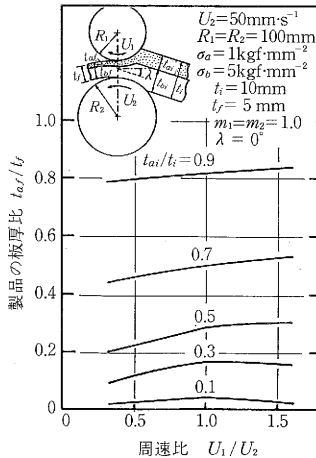


図4 ロール周速比が製品板厚比に及ぼす影響

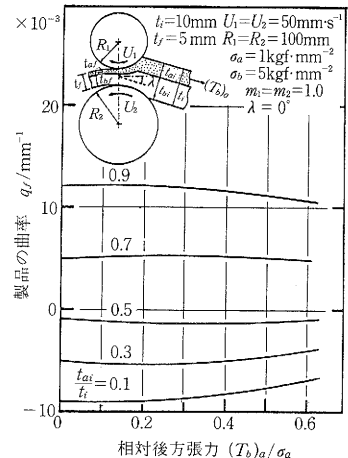


図5 後方張力が製品曲率に及ぼす影響

(b)に後方張力(T_b)_bを加える場合については、素板(a)に後方張力(T_b)_aを加える場合の変化傾向と逆になって、後方張力(T_b)_bが増すと、製品の板厚比 t_{af}/t_f は増大する⁹⁾。

3.2.3 圧延荷重

図7は、素板(b)に加える後方張力(T_b)_bが圧延荷重 P に与える影響を示す。後方張力(T_b)_bが増すと、圧延荷重 P が減少するが、その勾配は t_{ai}/t_i の増加に伴って減少する。なお、素板(a)に後方張力(T_b)_aを加える場合については、(T_b)_aが増すと、圧延荷重 P が減少するが、その勾配は、 t_{ai}/t_i の増加に伴って増大するという結果が得られている⁹⁾。

3.3 ロール半径比と入り側板厚比を変化させた場合の解析結果

図8は、上下ロール半径比(R_1/R_2)が製品曲率 q_f に与える影響を示す。全体的に、 t_{ai}/t_i の増加に伴って、製品の曲率 q_f が正側に移動する。また、半径比をどのように変化させても曲率を0にすることができない限界値が $t_{ai}/t_i=0.55$ の付近に存在することがわかる。

なお、上下ロール半径比 R_1/R_2 が増加すると、製品の板厚比 t_{af}/t_f が僅かに増加し、圧延荷重 P も増加する結果が得られている⁹⁾。

3.4 素板(a), (b)の変形抵抗比と入り側板厚比を変化させた場合の解析結果

3.4.1 製品の曲率

図9は、素板(a), (b)の変形抵抗比(σ_a/σ_b)が圧延後の製品の曲率(q_f)に与える影響を示す。 $t_{ai}/t_i=0.1$, 0.3の場合、 σ_a/σ_b が増加すると、 q_f はまず負の方向に増加するが、ほぼ $\sigma_a/\sigma_b=1.4$ の近傍で極小値を示す。 $t_{ai}/t_i=0.5$ の場合、まず正の方向に増加して、 $\sigma_a/\sigma_b=0.6$ のあた

りに極大値が存在する。そして、曲率は負の方向に変化し、今度は $\sigma_a/\sigma_b=1.7$ の近傍で極小値を示す。 $t_{ai}/t_i=0.7$, 0.9の場合は、 σ_a/σ_b が増加すると、 q_f は、まず正の方向に増加するが、ほぼ $\sigma_a/\sigma_b=0.6$ の近傍で極大値を示す。

3.4.2 製品の板厚比

図10は、 σ_a/σ_b が製品の厚さ比(t_{af}/t_f)に与える影響を示す。 σ_a/σ_b が増加すると、 t_{af}/t_f が増加することがわかる。

3.5 解析結果のまとめ

圧延前の素板(a)の板厚比 t_{ai}/t_i 、下ロール半径 R_2 および下側の素板(b)の変形抵抗 σ_b を一定としたときの他の加工条件因子が、圧延後の製品の板厚比 t_{af}/t_f 、圧延荷重 P およびトルク T に及ぼす影響をまとめると、次のことが言える。

- 1) 素板(b)に加えた後方張力(T_b)_b、半径比 R_1/R_2 、変形抵抗比 σ_a/σ_b が増加すると、製品の板厚比(t_{af}/t_f)は増加する。逆に、素板(a)に加えた後方張力(T_b)_a、圧下率 r 、入射角 λ 、摩擦定数 m が増大すると、板厚比は減少する。
- 2) 半径比 R_1/R_2 、変形抵抗比 σ_a/σ_b 、圧下率 r 、摩擦定数 m が増加すると、圧延荷重は増大する。逆に、後方張力(T_b)が増加すると、圧延荷重が減少する。
- 3) 後方張力(T_b)、半径比 R_1/R_2 、変形抵抗比 σ_a/σ_b 、圧下率 r 、摩擦定数 m が増加すると、トルクが増大する。

4. クラッド板の圧延実験

4.1 実験条件および方法

実験は4段圧延機を用い、ワークロール径は100mm(上)と200mm(下)、バックアップロール径は200mmで

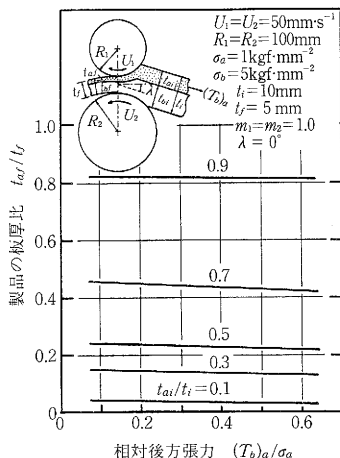


図6 後方張力が製品板厚比に及ぼす影響

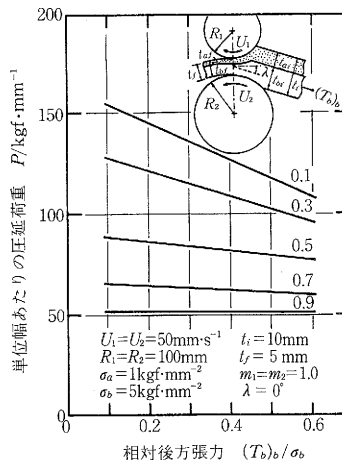


図7 後方張力が圧延荷重に及ぼす影響

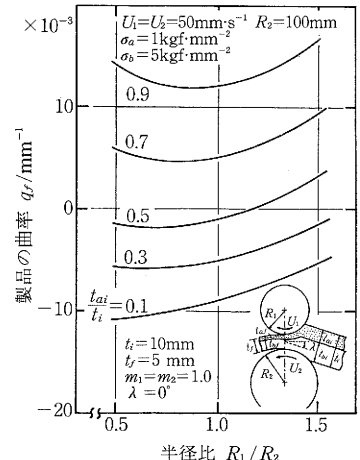


図8 ロール半径比が製品曲率に及ぼす影響

研 究 速 報

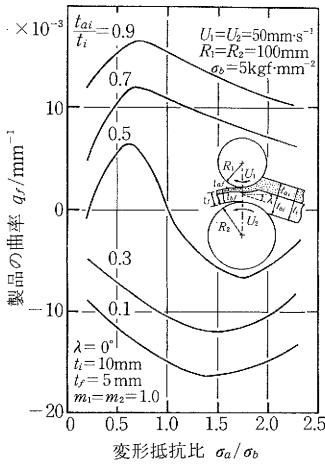


図9 素板の変形抵抗比が製品曲率に及ぼす影響

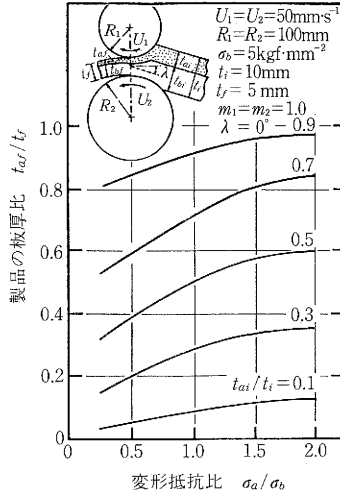


図10 素板の変形抵抗比が製品板厚比に及ぼす影響

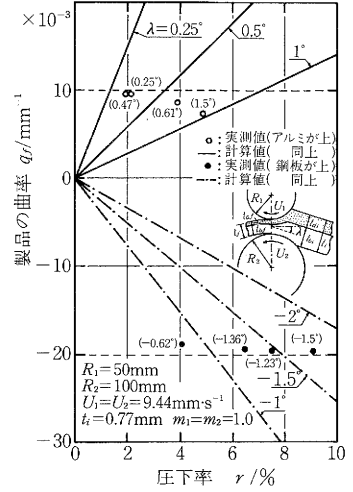


図11 圧下率が製品曲率に及ぼす影響 (アルミ板と鋼板とのクラッド板)

ある。供試材はアルミ板と鋼板 (板厚: 0.77, 板厚比: 約0.455/0.545, 変形抵抗比: 15/50) からなる既接合のクラッド板である。圧延機入り側に2個のダイヤルケージを設置し、供試材の入射角を測定した。なお、一回の通板ごとに、アセトンでロール表面と素板の脱脂を行い、無潤滑状態で実験を行った。

4.2 実験結果

図11は、圧下率と入射角が製品の曲率に及ぼす影響を示す。なお、計算は、素板界面が圧延前に接合されている場合に対するモデル(I)を用いた。(○)と実線は、アルミ板が上、鋼板が下にある場合の実験結果と計算結果であり、(●)と一点鎖線は、鋼板が上、アルミ板が下にある場合の実験結果と計算結果である。上下ロールの径は異なっているものの、いずれの場合も、製品は鋼板の側に曲がりを生じていることがわかる。また、図より、入射角を少し変化させることにより、製品曲率が大きく変わることを、および入射角については、実験値と解析値とは、比較的良好な対応を示していることがわかる。

5. ま と め

本研究では、クラッド板あるいは重ね板の圧着圧延の圧延条件と製品の曲率、板厚比との関係について系統的な検討を行った。ただし、採用した解析モデルは、素板

(a), (b)の界面がロール出口において、接合を完了すると仮定しており、また両材料の弾性変形は無視している。この解析手法および解析結果を実際問題に適用する場合は、この点に留意する必要がある。アルミ板と鋼板とのクラッド板についての圧延実験結果より、この解析モデルが実際の圧延現象を説明しうることが明らかになった。今後は、ロールバイト内において、素板(a), (b)が接合を完了するかどうかを判定するモデルを開発し、各種の加工条件因子がこの接合の進行および完了に及ぼす影響について、体系的な研究を行い、更に、実験との比較を通して、解析モデルの拡張や改善を図る予定である。(1988年10月12日受理)

参 考 文 献

- 1) 鈴木ほか: 塑性と加工, 15-166 (1974-11), 931.
- 2) 中島ほか: 昭53春塑加講論 (1978), 29.
- 3) Arnold, R.R. et al.: Proc. Instn. Mech. Engrs., 173 (1959), 241.
- 4) 田中ほか: 塑性と加工, 12-127 (1971-8), 622.
- 5) 山本ほか: 32回塑加連講論 (1981), 185.
- 6) 塩崎ほか: 塑性と加工, 23-262 (1982-11), 1080.
- 7) 中村ほか: 昭60春塑加講論 (1985), 9.
- 8) 木内ほか: 昭62春塑加講論 (1987), 131.
- 9) 木内ほか: 38回塑加連講論 (1987), 29.