

1. まえがき

各種鋼板はスラブの厚みや幅を変更することによって製造されており、特に薄板圧延では20以上のパスを通して所定の厚みを得ている。通常の圧延機では、ロール径や1パス当りの圧下率はスラブがロールに引込まれる際の限界かみ込み角によって決定されている。しかしながら、圧延ミルのコンパクト化、生産性の向上のため、パス数の削減が求められており、かみ込み性の向上は重要な問題である。板幅方向の大圧下についてはエッジング圧延¹⁾や幅圧下プレス²⁾など多くの研究がなされているが、板厚方向については摩擦係数を大きくするためにロール表面を粗くするだけで、あまり研究されていない。

本研究では、大圧下圧延におけるかみ込み性の向上として、一度スラブ先端部のみを低圧下率で圧延し、もう一度高圧下率でスラブ全体を圧延するかみ戻し圧延について調べる。プラスチックを用いたモデル実験を行い、かみ戻し圧延による限界圧下率およびスラブ形状への影響について調べる。

2. かみ戻し圧延

2.1 かみ込み性の向上

図1にかみ込み性を向上するためのかみ戻し圧延の概要を示す。素材のロール入側の接触点とロールギャップの間の角を θ とする。通常、板圧延においては1パスあたりの圧下率はスラブ先端部がかみ込む限界角度以下で決定され、その限界かみ込み角 θ_1 は、ロールと素材の摩擦係数 μ によって次式で与えられる。

$$\theta_1 = \tan^{-1} \mu \tag{1}$$

同じ限界かみ込み角で圧下率を大きくするにはロール径を大きくすればよいが、近年設備のコンパクト化や薄板圧延におけるワークロールの小径化が求められており、ロール径を大きくすることは適当でない。また、ロール表面を荒くすると製品表面精度に影響する。したがって、ロール径や摩擦係数を大きくすることなく、大圧下率で加工するにはかみ込み性を向上させなければならない。

一方、定常変形部では限界かみ込み角 θ_1 の2倍の接触角(第2かみ込み角 θ_2)までの圧延が可能である³⁾。

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} \mu \tag{2}$$

式(2)は先端部さえかみ込めば大圧下圧延ができることを表しており、通常の圧延では複数のパスに圧下率を分けているが、先端部のみ2段の圧下に分けることによってかみ込み性を向上できる。

本研究では、図1のように一度先端部のみを低圧下率で圧下し、試験片をロールギャップから戻してロール間隔を小さくした後もう一度高圧下率で試験片全体を圧延するかみ戻し圧延のモデル実験を行い、限界かみ込み角について調べる。

2.2 かみ戻し圧延のモデル実験

かみ戻し圧延のモデル実験条件を表1に示す。モデル実験の試験片にはプラスチックを、ロールには焼入れ研磨したS45Cを用いた。ロール径とスラブ板厚の比は16:1であり、ロール回転数は8rpmである。ロール間隔は隙間ゲージにより0.5mm間隔で調整した。1段目の圧延を定常変形部に達するまで行うため、初期試験片の先端から30mmのところを線を引いておき、それがロールに接触するまで圧下した。力を加えて押込まず、試験片をロールに当てて自然にかみ込ませる。また、試験片によりロールの潤滑剤が拭かれて摩擦状態が変化するため、ロールが1回転する前にかみ込むかどうかで限界圧下率を評価した。ロール表面および試験片の温度は25℃である。

限界かみ込み角は摩擦係数によって決るため、プラスチックとロール素材の摩擦係数をリング圧縮試験⁴⁾によって測定した。プラスチックは液体潤滑剤に溶けてしまうため、モデル実

験用潤滑剤としてグラファイトおよびテフロンシートを使用する。ただし、ロールとテフロンシートの間にはグラファイトがある状態で実験を行う。表2に摩擦係数の測定結果を示す。テフロンシートの摩擦係数はグラファイトより大きい。

2.3 実験結果

図2に1段目圧下後の圧下率と2段目後の総圧下率の限界値を示す。圧下率 $\Delta T/T_0$ は次式で定義する。

$$\Delta T/T_0 = (T_0 - T)/T_0 \times 100 \tag{3}$$

ここで、 T_0 は初期板厚、 T は圧下後の板厚であり、図中の T_1

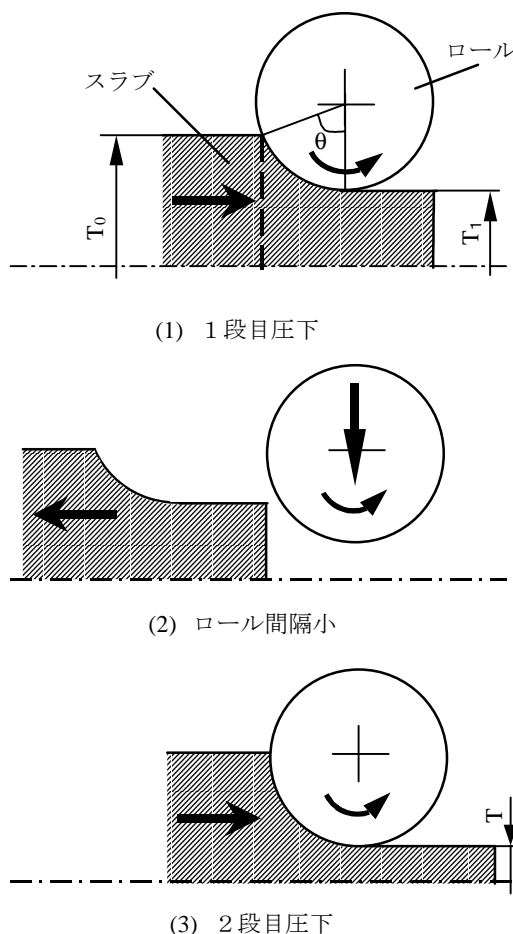


図1 板厚方向を大圧下するためのかみ戻し圧延

表1 大圧下圧延のモデル実験に用いた条件

ロール径	/mm	160
スラブ板厚	/mm	10
スラブ板幅	/mm	40,50
実験温度	/℃	25
ロール回転数	/rpm	8

表2 リング圧縮試験によって得られた摩擦係数

グラファイト	0.20
テフロンシート(ロール側グラファイト)	0.24

は1段目圧下後の板厚，添字のないものは総圧下率である。1段目圧下率が0%のものは，1段で最後まで圧下した通常の圧延の結果である。グラファイトはテフロンシートに比べて限界圧下率が大きい。また，総圧下率の限界値は1段目圧下率が大きくなるにつれて大きくなる。1段だけの限界圧下率はグラファイトでは約 50%，テフロンシートでは約 17%であり，かみ戻し圧延を行うことによって1段目の圧下分だけ総圧下率が増加する。かみ戻し圧延はスラブ先端部のかみ込み性の向上に有効である。

表3に総圧下率での限界圧下率を示す。理論値は式(2)から得られたものである。グラファイトの実験では装置の設計上90%以上は行えなかった。リング圧縮試験で得られた摩擦係数ではともに本実験の試験片板厚ではかみ込みが可能であるが，テフロンシートでは 35%を越えると滑って加工できなかった。

図3にスラブ先端を幅方向からみたクランプ形状を示す。かみ戻し圧延は通常の圧延に比べて先端が直線に近い。

図4にかみ戻しおよび通常の圧延におけるスラブの先端部クランプ長さの比較を示す。クランプ長さは以下の式で計算する。

$$L = (L_1 + L_2) / 2 \quad (4)$$

ここで， L_1 ， L_2 はそれぞれ板幅方向の両端の角とクランプ先端との圧延方向の差である。かみ戻し圧延の方が通常の圧延よりもクランプ長さが短くなり，歩留りの点からもかみ戻し圧延の方が有効である。

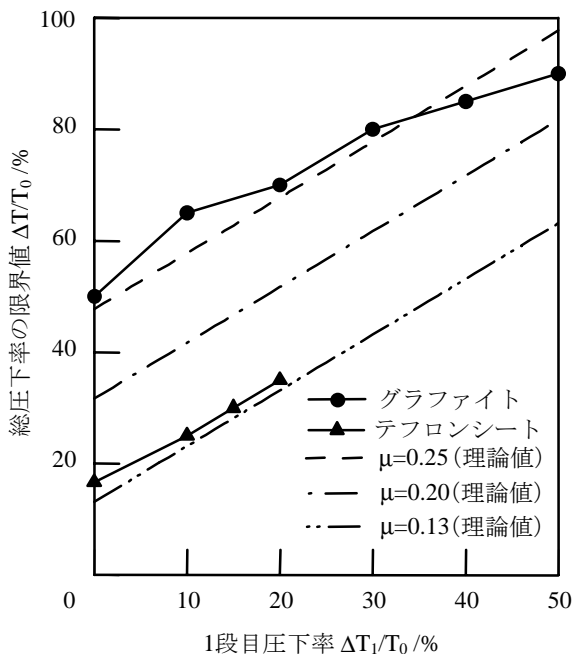


図2 かみ戻し圧延における1段目圧下率と総圧下率の限界値の関係



(a) かみ戻し (ΔT₁/T₀=20%, ΔT/T₀=40%) (b) 通常 (ΔT/T₀=40%)
図3 かみ戻し圧延と通常の圧延による先端クランプ形状の比較

2.4 摩擦係数の影響

図2に式(1)より求めた限界総圧下率の理論値を示す。リング圧縮試験ではテフロンシートの摩擦係数はグラファイトより大きく限界圧下率は大きくなるが，モデル実験結果ではグラファイトの限界圧下率の方が大きい。テフロンシートのリング圧縮試験では試験片の変形がテフロンシートののびで拘束され，リング圧縮試験では摩擦係数が大きくなったためであると思われる。鋼板の上にグラファイトを塗ってテフロンシートを敷き，おもりを乗せてテフロンシートとロール間の動摩擦係数を求めた。動摩擦係数は $\mu=0.13$ でこのときの理論値はモデル実験値とほぼ一致する。リング圧縮試験のような変形による滑りにおける摩擦よりもロールとテフロンシート間の動摩擦が限界圧下率に大きく影響すると思われる。一方，グラファイトでは，リング圧縮によって得られた摩擦係数 $\mu=0.20$ より大きい。リング圧縮試験は常に潤滑剤を挟んだ状態で行われるのに対し，圧延では潤滑剤が引込まれるため，両者の摩擦係数が異なるとと思われる。また，式(2)によって求めた表3の理論値も実験とはかなり異なる。リング圧縮試験は比較的簡単な摩擦試験法であるが，板圧延のかみ込み性を調べるには不十分であり，今後圧延のための容易な摩擦試験法が求められる。

3. まとめ

大圧下率圧延のかみ込み性を向上させるため，一度スラブ先端部のみを低圧下率で圧延し，もう一度高圧下率でスラブ全体を圧延するかみ戻し圧延のモデル実験を行い，限界圧下率およびスラブ形状への影響について調べた。かみ戻し圧延により，限界圧下率が大きくなり，スラブ先端のクランプ長さを短くすることができる。圧延のかみ込み性は摩擦状態によって大きく影響されるため，今後圧延のための簡単な摩擦試験法が求められる。

参考文献

- 1) 渡辺ら: 塑性と加工, **25**-277(1984), 75.
- 2) 磯部ら: 塑性と加工, **30**-340(1989), 682.
- 3) 松野ら: 塑性と加工, **24**-258(1982), 682.
- 4) 小坂田ら: 機論 C, **55**-516(1989), 2213.

表3 定常変形部の限界総圧下率

潤滑剤	実験値 / %	理論値 / %
グラファイト ($\mu=0.20$)	90	100
テフロンシート ($\mu=0.24$)	35	100
テフロンシート ($\mu=0.13$)	35	53

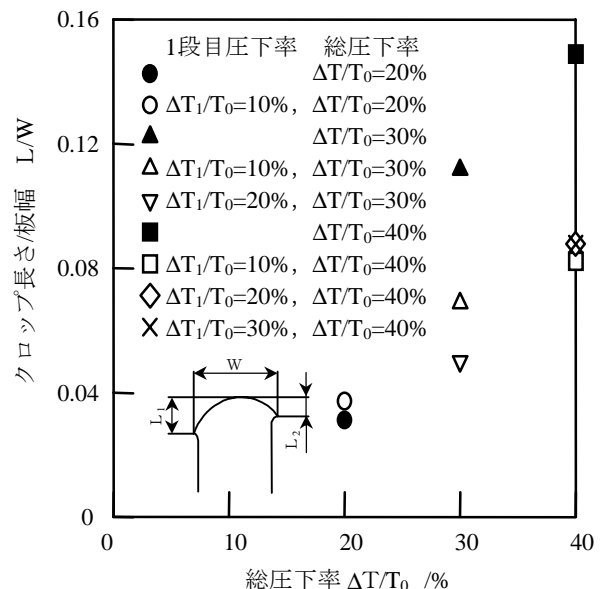


図4 かみ戻し圧延と通常の圧延のクランプ長さの比較