

討14

大圧下圧延によるビレットの新製造法

新日本製鐵(株) 技術協力事業部 西久保道夫, 生産技術研究所 ○青柳幸四郎
製品技術研究所 柳本左門, 工作事業部 南部好機
室蘭製鐵所 三浦成, 生産技術研究所 水沼晋

1. はじめに

最近, 1パス当りの延伸が, 従来水準を大幅に上まわる新型圧延機として, 3ロールプラネタリーミル(S. Siemag社)⁽¹⁾等の大圧下圧延機が, 種々発表され, 圧延工程の単縮化や, 簡略化等の観点から注目されている。

著者等は, 同様の目的から, 圧延中に後方圧縮力を付加して, 大きな接触角で圧延する「押し込み高延伸圧延法」(以下「大圧下圧延法」と称する)をとり上げ, 1パス当りの延伸増大の可能性, 圧延負荷, 変形特性等, 本圧延法の特徴について種々検討を加え, 従来の「かみ込み角規制」の圧延法に比して, 種々の合理性をもつ圧延法であることを確認した^{(2),(3),(4)}。以下, 圧延特性を中心に報告する。

2. 大圧下圧延法の基本概念

本圧延法は, 被圧延材の後方から, 押し込み力を付加して, かみ込み時, あるいは圧延中に発生するスリップを防止し, 相対的に大きな接触角で圧延することによって, ロールを小径化し, 圧延機をコンパクト化すると同時に, 変形効率の向上をも, めざそうとする圧延法で, 圧延中の材料とロール間の接触角(θ)が, $\theta > \tan^{-1}\mu$ (μ : ロールと材料間の摩擦係数)の領域の圧延となる。(図2.1)

本圧延法を概念を図2.2に示したが, 押し込み力を, かみ込み時から圧延中にわたって常時付加する方式〔I〕と, かみ込み時のみ付加する方式〔II〕に分けられるが, 当然のことながら, 延伸水準としては, 〔I〕>〔II〕の関係となる。従来からも, かなり大きな圧下率, 延伸で圧延が行なわれた例⁽⁵⁾は認められるが, 表面粗度の大きいロールを用いても, 接触角が, 30度前後で, ロール径の決定等は, かみ込み角や, ロール強度等との関連でなされるのが普通である。

3. 変形およびかみ込み特性からみた大圧下圧延成立の可能性

3.1 延伸に影響する諸因子

角, 棒材に本圧延法を適用する場合は, 孔型圧延との関連で, 高延伸をいかに効率的に確保するかが重要となる。延伸に影響する諸因子を図3.1に示したが,

- ア) 孔型方式 (Diamond, Box etc)
- イ) 材料軸比 (材料高さ(H_0)/材料幅(B_0))
- ウ) ロール径比 (ロール径(D_p)/孔型高さ(H_c))

等の幾何学的因子, また, スリップを防止するため付加する

- エ) 押し込み力 (押し込み応力(σ_p)/材料の降伏応力(k))

等が, 直接的に延伸に影響する。その他, 間接的な因子としては,

スリップに関係する圧延速度, ロール材質等が延伸に影響をおよぼすが, さらに, ロール径の下限(折損)を制約するロール強度等が相互に関連して, 実用的な適正延伸は定まる。

3.2 変形特性からみた延伸の限界

従来から, 延伸が大と言われる孔型方式(表3.1)を中心に, プラスティシヨン実験, 熱間圧延実験によって検

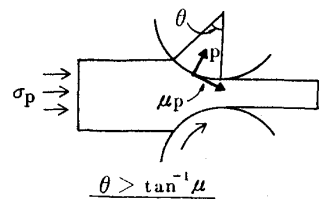


図2.1 基本原理

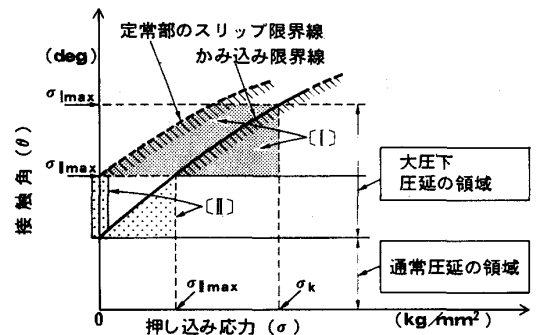


図2.2 大圧下圧延法概念説明図

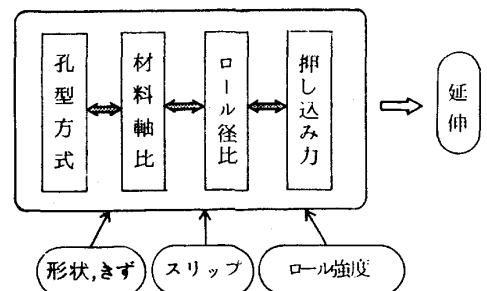


図3.1 孔型圧延の延伸に影響する諸因子

討を加えた。結果を要約すると次の通りである。

(1) 孔型の中央部から接触を開始する偏平孔型(表3.1の〔A〕)は、ロール径の選択、きず防止等からみて有利な変形特性を示し、高延伸をとることが可能である。

(2) 孔型の端部から接触を開始する偏平孔型(同表,〔B〕)は、ロール径比の小なる領域では、材料側面がつづみ型変形(しわ疵の原因)となり、不利となる。

(3) 軸比が、1近傍の孔型の場合(同表,〔C〕)は、入側材料断面の軸比が、きず生成との関係で限界があるため延伸の上限も制約される。(図3.3)

すなわち、角、棒材の孔型圧延は、縦方向と横方向からの交互の繰返し圧縮加工であり、通常は、上記〔A〕,〔B〕の偏平孔型と〔C〕の孔型の組合せから成り立っている。従って、総合延伸は、〔C〕によって制約を受けることになるが、ピレット圧延の場合は、Diamond~Square(or Diamond)方式等が総合的にみて、大圧下圧延には適していると言える。

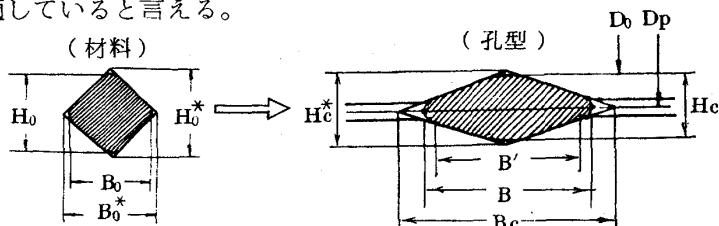


図 3.2 材料, 孔型の寸法表示

なお、延伸は、ロール径比(D_p/H_c)、押し込み力(σ_p/k)共に、小なるほど、大きくとれる。図 3.4 に押し込み力と幅広り、延伸の関係を示した。

3.3 押し込み力付加時のスリップ特性について

かみ込み時および圧延中のスリップ特性については、熱間試験圧延機(押し込み力付加:油圧プッシャーおよび連続圧延方式によるスタンド間応力)を用いて検討した。かみ込み時のスリップは、押し込み力(σ_p/k)を0.10~付加することによって、ほとんど防止できる。図 3.6 にその例をDiamond(材料)→Square(孔型)について示した。

縦軸は、スリップ係数(η_{st})で、下記の様に定義した。

$$\eta_{st} = t_m / t_c$$

ここに t_m : 図 3.5

$$t_c = l_{dm} / v_{Rm} \text{ (sec)}$$

(l_{dm} : 平均投影接触長さ(mm), v_{Rm} : 平均ロール周速(mm/sec))⁽⁷⁾

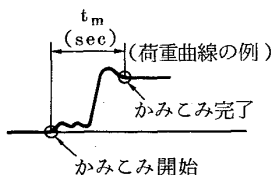


図 3.5 t_m の定義

なお、 $\eta_{st} < 3$ の範囲では、スリップは、ほとんど認められない。

スリップの傾向は、ロール材質⁽⁸⁾(特に硬度)によっても、若干異なり、鋳鉄系の方が鋳鋼系よりも、スリップし易く、より大きな押し込み力を必要とするが、この場合でも $\sigma_p/k \approx 0.10$ ~ で十分である。

表 3.1 孔型の分類

| 孔型 | 材料 | かみ込み姿勢 | 備考* (延伸) | |
|---------|---------|--------|-------------|---|
| Diamond | Square | [A] | | |
| | Diamond | | | |
| Oval | Round | | | |
| | Oval | | | |
| | Square | | (1) | |
| (2) | | | ○ | |
| Box | Box | | (1) | ○ |
| | | | (2) | |
| Square | Oval | | [C] | ○ |
| | Diamond | | | |
| Round | Oval | | | |
| | | | | |

注) * 延伸⁽⁶⁾ (○印: 従来から延伸が大と言われる孔型方式)

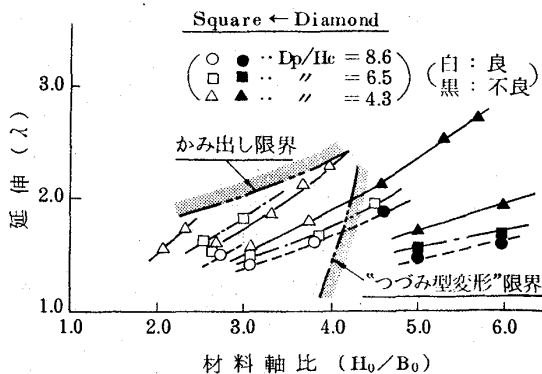


図 3.3 Square 孔型における材料軸比と延伸の関係(プラスティシン実験)⁽²⁾

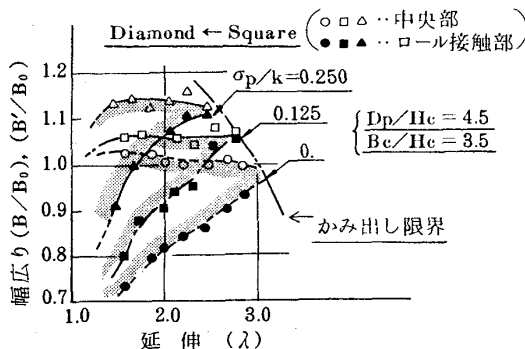


図 3.4 押し込み力と幅広り, 延伸の関係⁽²⁾ (プラスティシン実験)

次に、圧延中(定常部)のスリップ特性を図3.7(大圧下圧延法〔I〕)、図3.8(大圧下圧延法〔II〕)に示したが、圧延速度と密接な関係があり、低速側ほど、大きな接触角がとれる。また、圧延法〔I〕と〔II〕とかみ込み限界の関係を前記の図3.7に示したが、 $\sigma_p/k=0.10$ ~水準の押し込み力を付加した場合のかみ込み限界線は、上記〔I〕、〔II〕のスリップ限界線をはるかに上まわり、かみ込み性からみた障害は全くない。なお、縦軸の相当接触角 ϕ は、次の定義による。

$$\phi = \tan^{-1}(\tan \alpha_{\max} \cdot \cos \theta)$$

ここに、
 α_{\max} : ロール溝底径での接触角
 θ : 孔型壁の傾斜角(Diamond孔型等)

| 記号 | ロール材質硬度(H _s) | 孔型(軸比) | 圧延温度 | 延伸水準 | 実験機 ⁽³⁾ |
|----|--------------------------|---------------|-----------|------|--------------------|
| ◇ | 铸鋼系(35~) | Diamond(4~50) | 1250℃(抽出) | 1.9~ | 実験機-3 |
| ◇ | 铸鉄系(55~) | | | | "-1 |
| ◇ | 铸鋼系(35~) | Square(1.0~) | 同上 | 2.3~ | 実験機-3 |
| △ | 铸鉄系(55~) | | | | "-1 |

(黒印……スリップ発生)

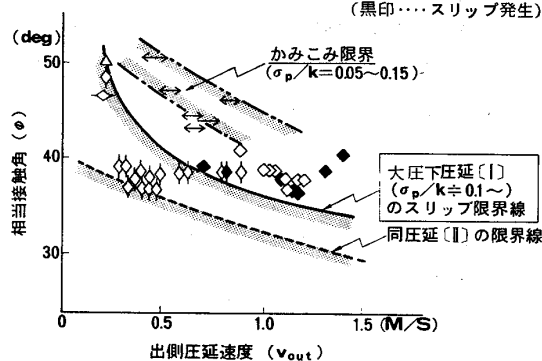


図3.7 大圧下圧延〔I〕のスリップ限界と圧延速度の関係⁽³⁾

| 記号 | 平均接触角 α_m | ロール硬度(H _s) | ロール径(D _p /H ₀) | 孔型軸比 | 圧延温度 | ロール周速 |
|----|------------------|------------------------|---------------------------------------|------|-------|------------|
| ○ | 44°~ | アダマイト系(50~) | 370φ(4.8) | 1.0 | 1100℃ | 0.15%~0.30 |
| △ | 42°~ | 铸鉄系(55~) | 200φ(4.3) | 1.0 | 1120℃ | 同上 |

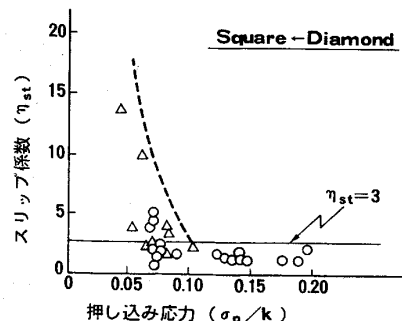


図3.6 押し込み応力と「スリップ係数」の関係⁽³⁾

| 記号 | ロール材質硬度(H _s) | 孔型(軸比) | 圧延温度 | 延伸水準 | 実験機 ⁽³⁾ |
|----|--------------------------|-------------------|-------|-----------|--------------------|
| ○ | 铸鉄系(45~) | Diamond(1.65~2.2) | 1100℃ | 1.65~1.70 | 実験機-3(連続) |
| △ | 铸鋼系(35~) | | | | " |
| ◇ | 铸鉄, アダマイト(45~50) | Square(1.0~) | 1100℃ | 1.70~3.0 | 実験機1, 2, 3 |

(黒印……スリップ発生)

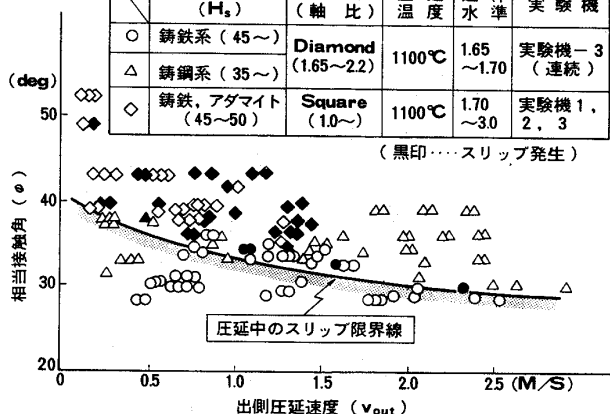


図3.8 大圧下圧延〔II〕における圧延中のスリップ限界と圧延速度の関係⁽³⁾

以上のごとく、変形特性あるいはスリップ特性からみてもビ

レット圧延等における大圧下圧延法は十分に成立し、従来水準を大幅に上まわる高延伸を達成できることがわかる。

4. 圧延負荷特性からみた本圧延法の特徴

大圧下圧延法は、“相対的に小径のロールで、大減面率(圧下率)をとる圧延法”と見ることが出来るが、小径ロールは、前述した様に、変形効率を上げる(幅広りが小)ほか、当然のことながら、接触投影長さも相対的に小となるから、荷重、トルク等の圧延負荷の点でも有利となることは予想がつくが、平均圧延圧力(p_m/k)やトルクアーム係数(ϵ)等の点でも、従来の分塊圧延等に比して、有利な特性を有している。

すなわち、図4.1に圧延負荷と密接に関連するロール間隙比(l_d/h_m)を示したが、大圧下圧延法は、概略 $l_d/h_m = 1.2 \sim 1.6$ で、従来の分塊圧延と線材圧延の中間に位置する。

このことは、小径ロール(D_0/H_0 が小)で通常減面率以下の圧延を行う場合($l_d/h_m < 1.0$)の平均圧延圧力やトルクア

係数の増加等の不利をさけることが出来、かつ、圧下力の材料中心部までの浸透等も良好となる($l_d/h_m > 1$)ことを

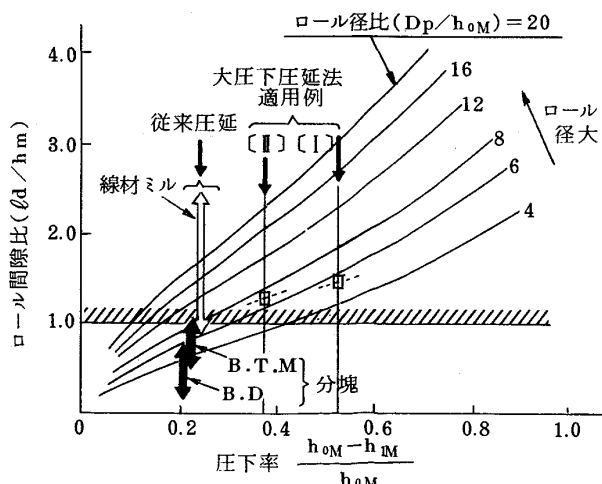


図4.1 圧下率とロール間隙比の関係(計算)(矩形換算法⁽⁷⁾による)

示している。図4.2, 4.3にDiamond, Square方式における熱間圧延実験で求めた平均圧延圧力(p_m/k)およびトルクアーム係数(ξ)の例(矩形換算法⁷⁾による)を示した。

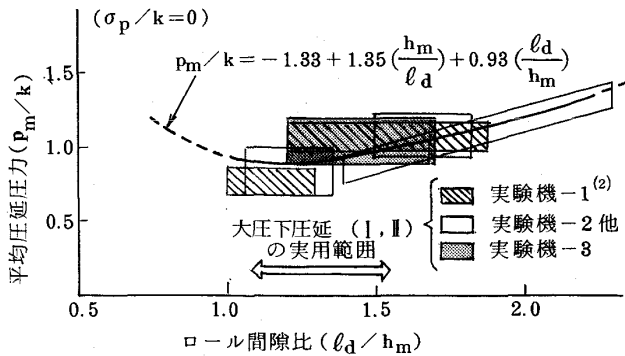


図4.2 ロール間隙比と平均圧延圧力の関係

上図は、押し込み力がない場合について示したが、押し込み力を付加した場合でも、その影響は1割程度で、定性的には、押し込み力で p_m/k は増(不利), ξ は減(有利)の方向となる。

実際の圧延に適用する場合は、単スタンド圧延以外は、連続で大圧下圧延を行うことになるが、その場合は、前後方から力を受けることになる。その場合の定性的な傾向を、従来圧延と比較して表4.1に示した。

5. 大圧下圧延法を適用した新ビレットミルのイメージ

表5.1に一例として275×275の角材から120×120のビレットを圧延する場合の計算結果を示した。総延伸が5.3〜で従来法では、7パス前後の圧延となる。

すなわち、大圧下圧延法[I]では3パス(設備的にはプッシャーが付属)、同[II]では、5パス(内、№1パスは、ピンチロール)で圧延できる。なお計算は、圧延開始温度を1050℃、圧延速度を最終出口で1.0~1.26M/Sで行った。圧延負荷等を見ても、従来の技術水準で十分に対応できるものであり、製品寸法も、最終に整形パス(大圧下圧延[I]の№3パスおよび[II]の№5パス)を配慮することによって従来水準以上の品質も確保することが可能である。

6. 結 言

大圧下圧延によるビレットの新製造法は、変形効率あるいは負荷特性からみても、従来法に優る特性を有し、圧延機台数の減少、ライン長の短縮など設備上のメリットがある他、加工エネルギー的にも優るとも劣らない特性を有する圧延法の結論づけることができる。

参考文献

1) E.Bretschneider, Stahlu Eisen (1973), 1024~他
 2) 西久保 他, 第29回塑性加工連講, 1978, 11, P.106~
 3) 〃, 第30回塑性加工連講, 1979, 5,
 4) 〃, 未発表
 5) W.Tafel, Stahlu Eisen (1924), 305~他
 6) Beynon, "Roll Design & Mill Layout" 他
 7) 柳本 他, 製鉄研究, №275, 1972, P.59~
 8) 岩瀬 他, 住友重機技報, Vol21, №62, 1973, P.45~

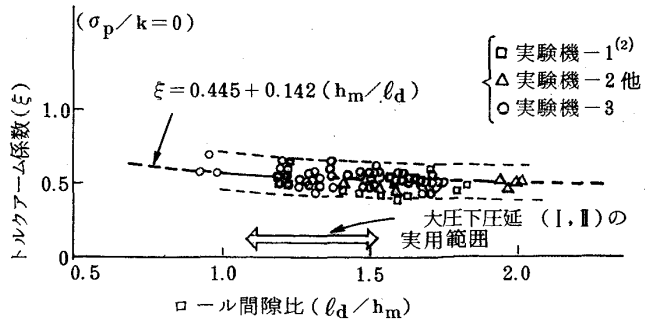


図4.3 ロール間隙比とトルクアーム係数の関係

表4.1 大圧下圧延法におけるスタンド間応力の影響

| | 大圧下圧延法 [I], [II] | 従来法 |
|--------------------------|------------------|--------|
| 後方からの圧縮力 | 幅広りは増加 | 同 左 |
| | 荷重は増加 | 同 左 |
| | トルクは不変 | トルクは減少 |
| 前方からの圧縮力 (次スタンドに供与する押し力) | 幅広りはほとんど不変 | 同 左 |
| | 荷重は不変 | 荷重は増加 |
| | トルクは、若干増加 | トルクは増加 |

表5.1 大圧下圧延ビレットミルのイメージ(計算)

| 圧延方式 | スタンド № | 孔型 | 延伸 | ロール径 (胴径) | 圧延荷重 | 圧延トルク (2軸) | 寸法*精度 | かみこみ角 (溝底) |
|------------|----------|-----|------|-----------|------|------------|-------|------------|
| 大圧下圧延 [I] | №1 | Dia | 2.26 | 1,025 | 870 | 208 | ±3.6 | 48° |
| | 2 | Squ | 2.13 | 1,160 | 522 | 144 | ±7.1 | 47° |
| | 3 | Squ | 1.10 | 545 | 202 | 10 | ±0.7 | 20° |
| 大圧下圧延 [II] | №1 (P.R) | Squ | 1.05 | 750 | 148 | 34 | ±0.7 | 24° |
| | №2 | Dia | 1.63 | 1,030 | 731 | 150 | ±2.3 | 37° |
| | 3 | Dia | 1.60 | 1,030 | 504 | 112 | ±1.8 | 36° |
| | 4 | Dia | 1.53 | 880 | 355 | 48 | ±1.0 | 34° |
| | 5 | Squ | 1.26 | 730 | 214 | 24 | ±0.5 | 28° |

注) ロール強度は、荷重点の応力(切欠き含まず)を15kg/mm²で計算
 * 実験結果から推定