

討 8

孔 型 圧 延 の 概 要

住友金属中央技術研究所 ○岡本豊彦 浅川基男

1. ま え が き

孔型圧延法は従来より現場的、経験的方法で発展してきたが、最近ようやく三次元変形理論として、学問的にも研究されるようになってきた。ここでは孔型圧延の実際と研究について基本的な概要を述べることにし、今回の各専門分野における講演のガイドとなれば幸いである。

2. 孔型の種類 (2ロールの場合)^{2), 3), 4)}

孔型は延伸用と造形用によって構成されている。延伸用孔型では変形のほとんどが伸びになり、磨耗してもわずかの旋削で正しい形状が得られることに必要である。孔型の形状は大きく分けて2個のロールの孔型が開いている「開式孔型」とロールの突出し部が他のロールの溝の中に入っている「閉式孔型」とがある。

1) 分塊圧延

分塊圧延の孔型は大きく分類して、ブルーム・ビレット用孔型、スラブ用孔型 (図 1)、ブランク用孔型 (図 2) などがある。ブランク用孔型は大きな形鋼を作るときある程度形鋼に近い形まで圧延する孔型をいう。ビレット用孔型は下記の棒鋼、線材孔型と共通点が多いのでここでは省略する。

2) 棒鋼・線材 (主に丸鋼の場合)

棒鋼・線材の孔型は、図 3 に示すように大きく分けて、

- ① フラット・エッジ法、② オーバル・スフェア法 ③ ダイヤ・スフェア法 ④ オーバル・ラウンド法がある。①は延伸が少なく

図 2 ブランク用孔型

ロールと鋼材の側面に摩擦を生じ、表面肌が悪影響を及ぼすが、スケールが脱落しやすいという長所がある。大きな棒鋼の延伸に用いられる。②は最も一般的で、延伸が大きくとれ、ロール間隙を調整することにより種々の仕上断面材を作ることができる。ダイヤ・スフェア法と同様途中で角材をとり出せる利点がある。水平連続延の場合オーバル→スフェアのときは 90° 、スフェア→オーバルのときは 45° のtwistが必要となる。一般にtwistをうけると鋼材からスケールの脱落がうまく行なわれるが、表面きずの発生、倒れの危険性がある。この配列は小棒、中棒の延伸に適している。③は鋼材の4面が常にロールに接触し、幅広がり小さく仕上製品の肌が良好である。その変形にダイヤ・ダイヤがある。ダイヤ・スフェアの場合同じ面が2回続けて圧下されて 90° twistするのに対し、ダイヤ・ダイヤは各パスでtwistをうけるので倒れや表面きずを発生しやすい。④は主に仕上列に適し変形の条件が良く、表面きずのない良好な製品を得ることができる。ただしラウンド→オーバルの場合丸材が正確にオーバル孔型に入りず転回する可能性がある。オーバル・ラウンドの変形であるオーバル・オーバルでは孔型への誘導が容易になるが不安定な圧延となる。最近では仕上準備材を作る段階でオーバルスラブ方式が採用されはじめている。

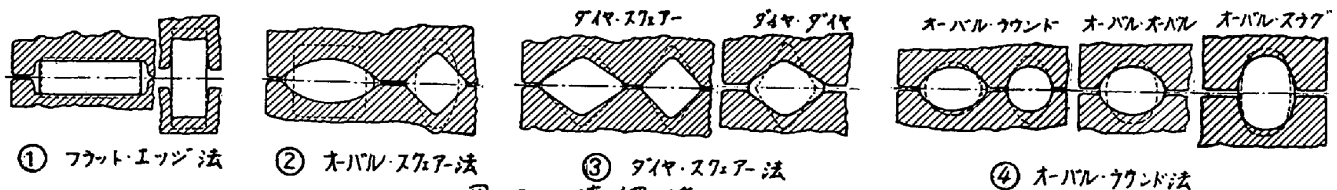


図 3 棒鋼・線材用孔型

3) 形鋼

形鋼の孔型設計は形鋼の種類が多いにめ、いろいろな方法があるが大別すると 図 4 に示すビーム法 (I 形鋼の場合)、バタフライ法 (溝形鋼の場合)、フラット・エッジ法 (山形鋼の場合) などがある。ビーム法は最も一般的に使用されている方法でビレットに切込みや圧下を加えて所要の形に圧延する

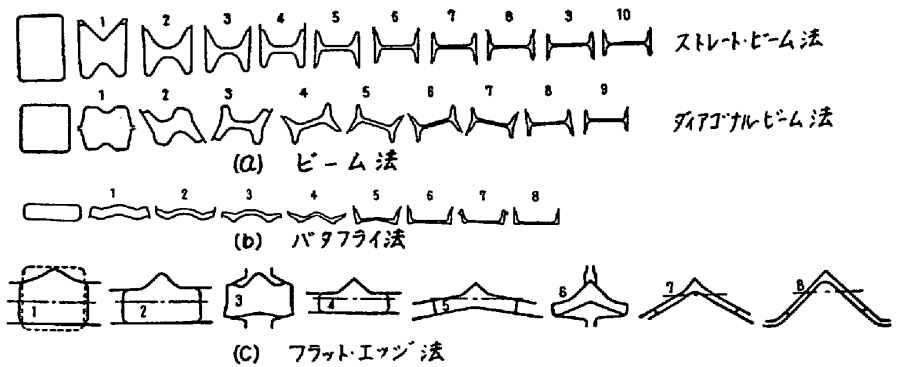


図 4 形鋼の孔型設計法

方法でストレートビーム法とダイアゴナルビーム法とがある。バタフライ法は一般に幅が製品の幅寸法より大きなスラブを使用して所要の形に折りまげながら圧延するのが特徴である。フラット・エッジ法は上下面だけでなく側面に圧下を加える方法で、同一孔型で数種類の中小形山形鋼を圧延するのに適している。

3. 孔型と孔型ロールの特性値^{1), 4)}

平ロールと異なり孔型ロールは孔型表面にいろいろな周速度を生じる。圧延過程で圧延材に直接圧力を加える場所のロール直径を“作業直径” D_w (図 5 参照) という。上ロールと下ロールの軸間距離を“平均直径” D_m と呼ぶ。また上、下ロール軸の中間に“ピッチ線”があり、ピッチ線上において二つのロールは滑りを起こさず回転することになる。圧延材とロールとが同じ速度を有すると想定される圧延材の断面側にひかれに線を“中立線”といい、ロール軸線から中立線に到る半径を“有効半径”と呼ぶ。有効半径(r_e)は孔型ロールの回転数を決定する基準となる。一般に対称断面の基本的孔型には 図 6 (ラウンド孔型の場合) に示すように経験的に有効半径を決定する方法がある。非対称断面の場合 *Galejs* の平均高さの方法 (図 6 の

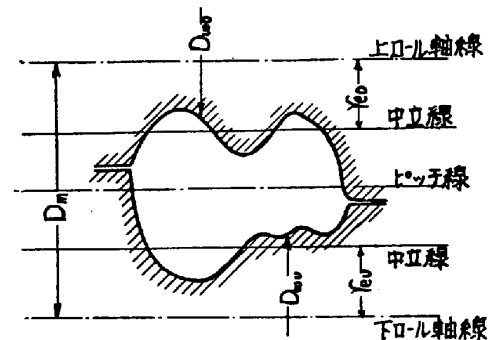


図 5 孔型ロールの特性値

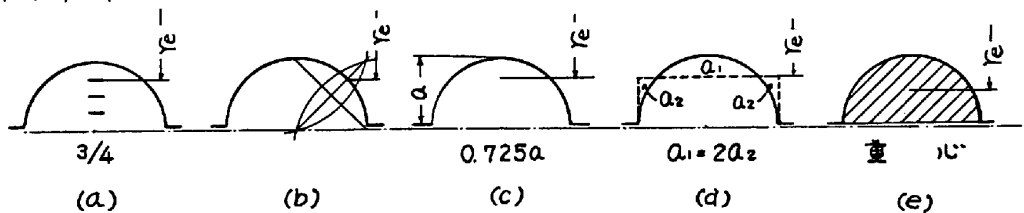


図 6 有効半径を決定する方法

ゆに相当) がある。またロールと圧延材が同じ速度となる接触面積上の線をノースリップラインという。平ロールの場合は軸線と平行な直線であるが孔型ロールの場合は一般に曲線となる。

4. 孔型圧延理論

1) 投影接触面積 (F_d)^{1), 4), 7)}

孔型の場合の投影接触面積の形状は複雑であって、正確に求めることは容易ではないが、次の三つの方法がある。

① *Trinks* 法 : 立体幾何学的作図法を用いて投影接触面の形状を求める方法であり、最も正確な形状に近いが、非常に手数を要する。

② Siebel法：図7のように圧延前および圧延後のいずれにおいても幅が孔型の平均幅に等しく、断面積が材料の断面積に等しい矩形の断面を考え、孔型圧延を近似的に矩形断面の圧延とみなし、圧延前の平均厚み h_{1m} から圧延後の平均厚み h_{2m} まで圧延されるが、幅は不変と考えるのである。理論的には、欠点も多いが、実際の計算の手数は最も少ない。

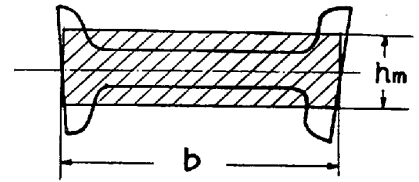


図7 Siebel法

③ 住友法：Trinks法とSiebel法の間で図8のように孔型の断面を実際の断面と幅、断面積が等しく、かつ上下対称な孔型に変換して取り扱う手法である。この場合トルファームの解においてSiebel法より更に良い近似解が得られる。

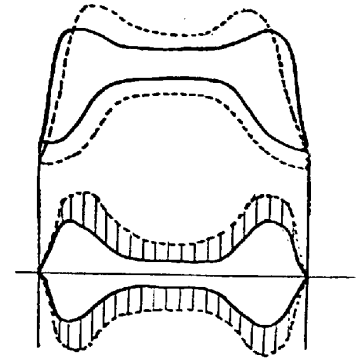


図8 住友法

2) 平均圧延圧力 (p_s)

孔型圧延の場合でも平圧延と同様に圧延荷重(P)を投影接触面積(F_d)で除した値が平均圧延圧力(p_s)といわれている。平均圧延圧力は、圧延温度、孔型の形状、孔型の平均厚みとロール平均直径の比などの種々の因子によって影響される。岡本は孔型圧延の場合の断面形状の影響を表現する因子として、 $L/\sqrt{A}$ (L : 材料断面の周長の半分、 A : 断面積)を提案した^{5), 6)}。その他に F_d/F_m (F_d : 平均断面積), ld/h_m (ld : 接触弧の長さ)などが検討されている。中島は次式のごとき Q_k を形状係数として提案し、孔型圧延の特徴を観察した。

$$p_s = \frac{P}{F_d} = K_{fm} \cdot Q_g \cdot Q_k$$

K_{fm} は平均変形抵抗で Q_g は平圧延の際の圧力増倍係数であり、Peening効果を考慮した次式で与えられる。

$$Q_g = 0.25 ld/h_m + 0.21 h_m/ld + 0.60$$

3) メタルフロー^{(10), (11), (12)}

五弓、有藤らは各種孔型圧延に関する変形とメタルフロー、さらに圧力分布などについて、一連の論文を発表しており、柳本らもプラスチシンを使用して、各種孔型圧延のメタルフロー、ひずみ分布の測定をしている。

4) 一様接触の孔型について

2ロールの場合、普通Trinks法で投影接触面の形状を作図すると、材料はロール溝底から接触しはじめ孔型のフランジ側では遅れて接触する、即ち凸型接触であるがスチアー→オーバルの圧延では逆に凹型の接触となる。このように不均一接触すればメタルフローも不均一になるのみでなくしばしば孔型の中の材料が割れ易い。しかし入側で孔型の形状と材料の形状寸法を一致させるならば、投影接触面積は矩形となり、メタルフローが均一になるのみでなく材料は孔型自身によって保持されるので割れの発生が少い。このようにするためには、厳密にはサイドリリーフ(後述)を(→)にすることが必要であるが線材、棒鋼で(→)にすることは、実際的には困難であり、ある種の不完全な一様接触しか得られない。

5. 2ロールと3ロールの比較検討

孔型圧延に関する3ロールの方法は Kocks社においてすでに実用化されている。日本では五弓ら⁹⁾、張力付加状態における減面率、形状係数などについて検討をしている。往々にしても以前より2ロール、3ロールの孔型特性を検討してきたので、ここにその一部を述べることにする。

1) 相似形孔型とサイドリリーフ

相似形孔型とは 図9 の楕円形状の孔型で示されるように、相似の孔型により繰り返して圧延される配列法のことをいう。また、着目の孔型長半径を a_i 、同じく短半径を b_i とするとサイドリリーフ Δi 、およびサイドリリーフ係数 η_i は次式で定義される。

$$\Delta i = a_i - b_{i-1}$$

$$\eta_i = a_i / b_{i-1}$$

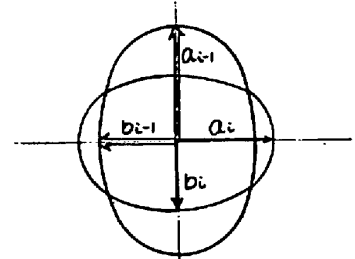


図9 サイドリリーフの説明

2) 楕円率とリダクション

楕円率とは孔型の長半径と短半径の比で $\alpha_i = a_i / b_i$ で定義される。一般にサイドリリーフが0の場合、リダクション PA_i は楕円率 α_i のみで決定される。ただしこの場合相似形が成立するものとする。

$$PA_i = \left(1 - \frac{1}{\alpha_i^2}\right) \times 100 \quad (\%)$$

従って楕円率 α_i に等しければ2ロール、3ロール、さらに4ロール孔型のリダクションはすべて等しい。

3) 理論的に可能な最大リダクション

理論的に可能な最大リダクションは、とり得る最大楕円率で決定される。4ロールを含めた結果を表1に示す。

表1 理論的に可能な最大リダクション

	2 ROLL	3 ROLL	4 ROLL
SIMPLIFIED CALIBER			
MAXIMUM OVALITY	∞	2	$\sqrt{2}$
MAXIMUM REDUCTION	100%	75%	50%

参考文献

- 1) A. GELEGI 著 五弓勇雄訳 “金属塑性加工の計算” (上)
- 2) 日本鉄鋼協会 “鉄鋼便覧”
- 3) Ross, E. BEYON “ROLL DESIGN & MILL LAYOUT”
- 4) W. TRINKS 著 二宮力訳 “孔型設計” (上) (F)
- 5) 岡本：第7回圧延理論分科会資料、(形鋼圧延に関する2-3の参考)
- 6) “ ” 〃 “ (形鋼圧延の場合の变形抵抗)
- 7) “ ” 〃 “ (孔型圧延の投影接触面とトルクについて)
- 8) 中島 “ ” “ (連続鋼片ストロークにおける Box Dia. Square 孔型の圧延荷重の検討)
- 9) 五弓、野村他 日本金属学会シンポジウム講演予稿-一般講演概要 (1968-9) P 345
- 10) 五弓、斎藤 鉄と鋼 53 6 (1967) P 13
- 11) 柳本、青木 塑性と加工 9-92 (1968) P 597
- 12) “ ” “ 9-94 (1968) P 797