

(討14)

ロール成形法による鋼板へのみぞ付け加工について

京都大学工学部 ○小門純一, 小野田義富

1. 緒言

キーストプレート、ハット・チールなどのように、その長手方向の曲げ剛性を高めるため鋼板へみぞ付け加工を行なう場合、普通、ロール成形法が採用されている。みぞの形は台形のものが多く、成形機の前段の数スタンドでは円弧状のみぞ付け加工を行ない、後段の仕上げスタンドで規定の形に成形する方法を用いると、1スタンド当りの成形量を縁波の発生を見ることがなく増大することができ、所要スタンド数を大巾に減らすことができる^{1), 2)}。1スタンド当りの成形量が増加すれば、当然成形荷重も大きくなるので、既存のスタンドを使用する場合でも、あるいは新しくスタンドを設計する場合にも、所要の成形荷重を知ることが必要となるが、ロール成形における材料の挙動は複雑であるため、成形荷重を解動的に求めることはできない。そこで、各種の成形因子と成形荷重との間の関係を定量化するための一連の実験を行ない、成形荷重を与える計算式を求めた。しかし、ロール穴形や成形条件がこの実験範囲を逸脱する場合には、その精度にいささか不安が残るので、実験の簡単なダイプレス試験により成形荷重を推定する方法についても検討を加えた。なお、一部には所要トルクについても言及している。

2. 単一スタンドでの成形条件と成形荷重との関係

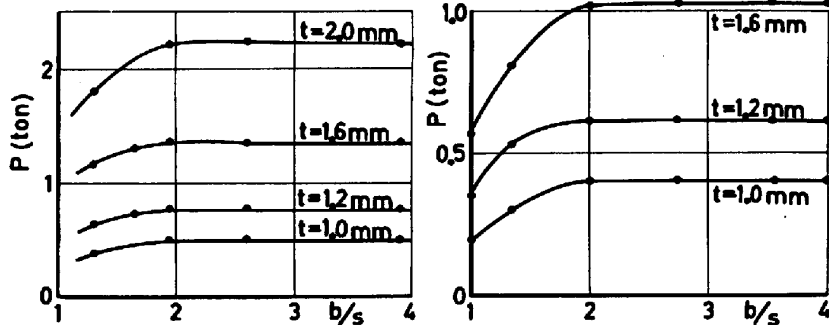
(a) $S=77\text{mm}$ $V=1$ $i=1.77$
 $h/l=0.2$ $R.C=t\text{mm}$ (b) $S=150\text{mm}$ $V=1$ $i=2.15$
 $h/l=0.15$ $R.C=t\text{mm}$ 

図1. 板幅比と成形荷重との関係

$i=2.15$ とした場合の両者の関係は図1-bのようで、いずれの場合も、成形荷重は板幅比とともに増加しているが、 $b/s \geq 2$ になると板幅比にかかわらずほぼ一定値になっている。

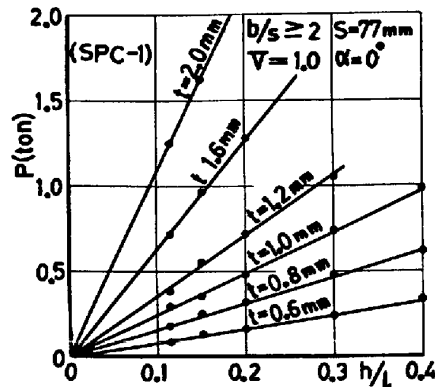


図2. 成形量と成形荷重との関係

図2は穴形展開長さ $S=77\text{mm}$ 、ロール周速比 $V=1$ 、送入角度 $\alpha=0^\circ$ 、板幅比 $b/s \geq 2$ の場合の成形量 h/l と成形荷重 P との関係を、SPC-1材について板厚を助変数として示したものである。図から、成形荷重はどの板厚についても成形量に正比例していることがわかる。

成形条件因子が成形トルクに及ぼす影響はそれらが成形荷重に及ぼす影響とはほぼ同じ傾向を示すが、成形量だけはその傾向を異にしている。すなわち、図3は成形量と成形トルクとの関係の一例を示すもので、図から成形トルクは成形量の2.2~2.4乗に比例して増加していることがわかる。このことはロール成形設備設計の際、所要動力の算定で注意しなければならない事項である。

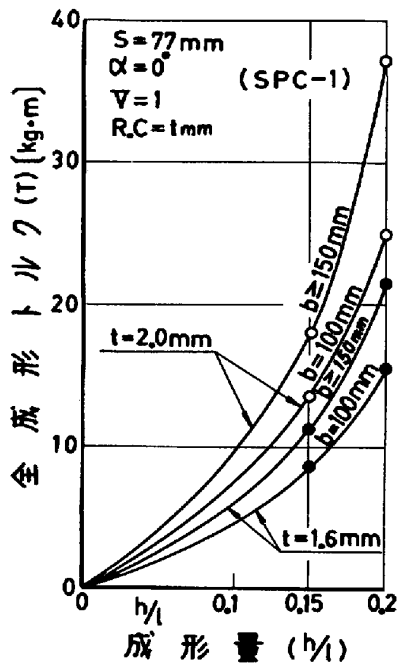


図3. 成形量と全成形トルクの関係

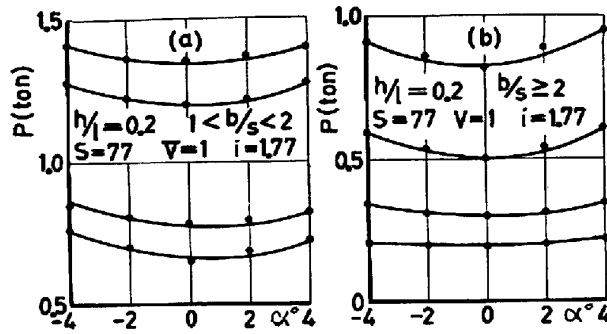


図4. 送角度と成形荷重との関係

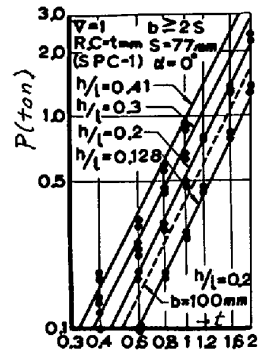


図5. 板厚と成形荷重との関係

穴形展開長さ $S=77\text{mm}$ 、成形量 $h/l=0.2$ 、ロール径比 $i=1.77$ 、ロール周速比 $V=1.0$ の条件で SPC-1 鋼板を成形する場合の成形荷重 P とロール送角度 α との関係は、板厚を助変数として図示すれば、 $1 < b/S < 2$ の場合図 4・a のように、 $b/S \geq 2$ の場合図 4・b のようである。図において、 α が正の値であることは、材料が上ロールである凸ロール側から送入されることを示している。これらの図から、いずれの場合にも、成形荷重は $\alpha=0^\circ$ の場合最小値を示し、 α の値が正負いずれの方向へずれても、材料に縁波や座屈を生じない $|\alpha| \leq 4^\circ$ の範囲では、ほぼ対称的に、ゆるやかに増加していることがわかる。この傾向は、鈴木・木内らの廣幅断面でないものについての実験においても指摘されている。³⁾

図 5 は穴形展開長さ $S=77\text{mm}$ 、ロール周速比 $V=1.0$ 、送角度 $\alpha=0^\circ$ 、板幅比 $b/S \geq 2$ の場合の板厚 t と成形荷重 P との関係は、成形量を助変数にとり、SPC-1 について示したものである。また、図中の点線は $h/l=0.2$ 、 $1 < b/S < 2$ の場合の 1 例を示したものである。この図から、成形荷重はいずれの成形量についても、また板幅比にかかわらず、板厚のほぼ 2.1 乗に比例して増加していることがわかる。SPC-1 の加工硬化指数 n は 0.1 であることから、成形荷重は板厚の $(2+n)$ 乗に比例するものとなる。

ロール周速比 V が増すと成形荷重はどの送角度についてもゆるやかに減少する傾向にある。しかし、ロール周速比が大きくなるとロール出側のフランジ部にひつき傷が生ずるようになり、これは凹ロール側で特に著しい。したがって、実際上は $V < 2$ とすることが望ましいが、この範囲ではロール周速比による成形荷重の変化はわずかであるので、ロール周速比の影響は考慮しなくともよい。

また一般に、ロール径比とともに成形荷重はやや大きくなるが、その差は極くわずかであるので、ロール周速比と同様、ロール径比の成形荷重に及ぼす影響を無視しても大きな誤はない。

3. 成形荷重を與える計算式

成形荷重に影響をおよぼす多くの因子のうち、ロール周速比とロール径比との影響は、前述のように、無視しても差支えない。また、益田・室田らの研究⁴⁾により、ロールと材料との間の摩擦係数の差による成形荷重の変化もほとんどないことが明らかにされている。したがって、成形荷重 P [kg] は板厚 t [mm]、成形量 h/l 、板幅比 b/S 、送角度 α [°] のほか、凸ロール凸部の幅方向曲げ半径 R [mm]、凹ロール肩部の曲げ半径 r [mm]、材料の降伏応力 σ_e [kg/mm²] の関数になると考えられる。すなわち

$$P = f(t, h/l, b/S, \alpha, R, r, \sigma_e)$$

上に述べた実験結果から、 P は t^{2+n} および h/l に比例し、 $|\alpha| \leq 4^\circ$ の範囲で $\alpha=0^\circ$ を対称軸とする放物線に近似できることがわかる。また、理論的に P は σ_e に比例し、 R^n および r^n に逆比例する。さらに P は $1 < b/S < 2$ の範囲では b/S の増加とともに 2 次曲線的に増加し $b/S=2$ においてその傾きが水平になることを考慮すれば次式が成立する。

$$P = a \left\{ 1 - C \left(z - \frac{h}{2} \right)^2 \right\} (\alpha^2 + d) (R^{-n} + r^{-n}) \cdot t^{2+n} \cdot \sigma_e$$

実験結果から上式の係数を定めると、 $a = 1.36$ 、 $C = 0.65$ 、 $d = 69.9$ となる。この結果は実測結果とよく一致していて、その誤差はたかだか±10%程度である。

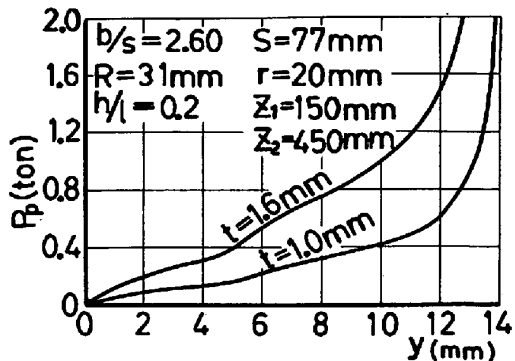


図6. 行程による成形荷重の推移

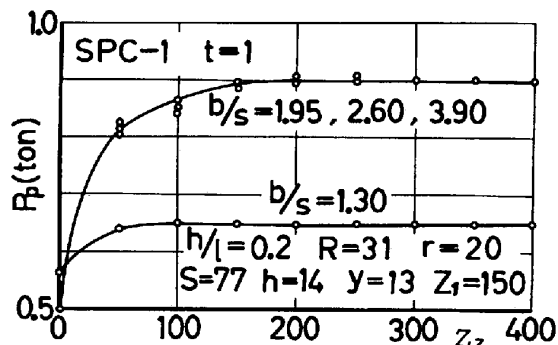


図7. Z₂による成形荷重の変化

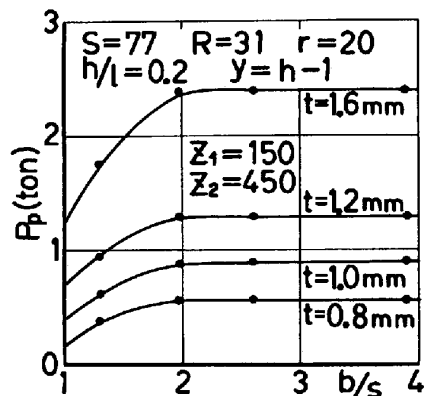


図8. 板幅比と成形荷重の関係

図9はロール成形において $\alpha = 0^\circ$ 、 $V = 1$ の標準状態における成形荷重 P と、それと同じ穴形をもつプレス成形荷重 P_p との比 P/P_p とダイス内部の鋼板長さ Z_2 との関係を、各種の板厚および板幅比についてまとめて示したものである。図中の添字はその裏におけるばらつきを示したもので、 Z_2 の増加とともにこのばらつき量が指数的に減少していることがわかる。成形荷重 P の測定に当っては数%の誤差をまぬがれないことおよびダイス金形の製作の難易を考慮すれば、 $Z_2 > 150\text{mm}$ で精度上十分であろう。

図10は図11に示す穴形に従って広幅鋼板に台形のみぞ付け加工をランダムで行なう際のロール成形および $Z_1 = 150\text{mm}$ 、 $Z_2 = 450\text{mm}$ としたときのプレス成形の成形荷重の推移を示したものである。図において円弧形みぞの成形を行なう者1、直線および円3スタンドにおける両者の成形荷重の比はいず

4. ダイプレス実験によるロール成形荷重の予測

上に求めた成形荷重の計算式は実測結果とよい一致を見る。とはいえ、成形条件が上の実験範囲外にあるとき、上式の諸係数の値は幾分変ることもありうるであろう。そのような場合、新しく実験を行なうことは多大の費用と労力を必要とするので、正しい成形荷重を実物の設備によらず、何らかの簡便な実験によって予測することができれば好都合である。

ロール穴形と同じ断面をもつ上下ダイスによって材料の一部を2次元変形させたとき、ダイス外にある材料に生ずる変形の状態は、ロール成形時にロール手前の材料に生ずるそれと巨視的に極めて類似している。プレス成形のための成形荷重 P_p は、図6に示すように、ダイスの行程 y とともに増加するが、 y の値が穴形深さ h に近づくとその増加ははげしくなり、 $y \approx h$ の所では實際上 P_p の値は無限大に近くなる。したがって、ここでは、 $y = (h-1)\text{mm}$ の位置の荷重の値をプレス成形のための成形荷重 P_p とすることにする。

ダイス内にある材料の長さを Z_1 、ダイス外の片方にあるそれを Z_2 とすれば、 $Z_2 = 0$ の場合には成形荷重 P_p は当然 Z_1 に比例する。いま、 $Z_1 = 150\text{mm}$ 、 $h/l = 0.2$ 、 $t = 1.0\text{mm}$ 、 $R = 31\text{mm}$ 、 $r = 20\text{mm}$ 、 $S = 77\text{mm}$ 、 $h = 14\text{mm}$ の場合の成形荷重 P_p と Z_2 との間の関係を示すと図7のようである。この図から、 P_p の値は Z_2 の値とともに増加するが、少なくとも $Z_2 > 200\text{mm}$ になれば一定値に落付くことがわかる。よって、以下の実験では $Z_2 = 450\text{mm}$ としている。

図8は板幅比によるプレス成形荷重 P_p の変化の状態を示すものである。この図から、 P_p の値は $1 \leq b/s < 2$ の範囲では b/s とともに増加するが、 $b/s \geq 2$ では一定値となること、板厚の $(2+n)$ 乗に比例することがわかる。これは図1に示したロール成形の場合の成形荷重と全く同様のことで、成形荷重に關しては、プレス成形とロール成形の間にある一定の類似性があることを示すものである。

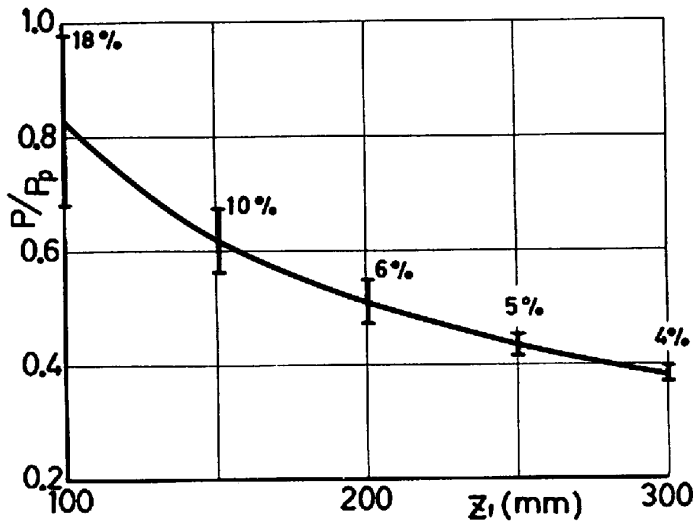


図9. Z_1 と P/P_p との関係

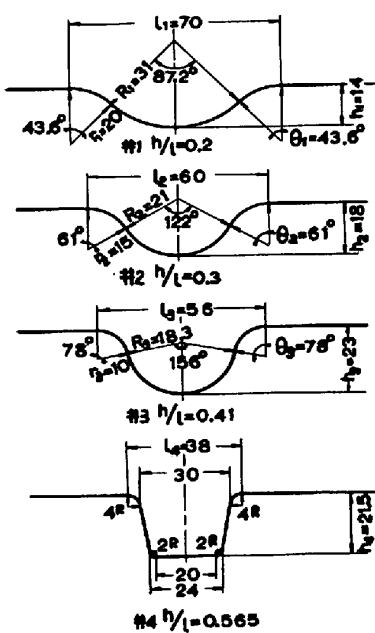


図11. タンデム成形の穴形

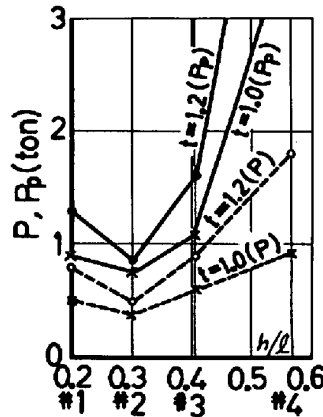


図10. 成形荷重の推移

水も約0.62で、この値は図9における $Z_1=150$ mm の場合の P/P_p の平均値とよく一致している。すなわち、内弧みぞの成形を行なう場合には、上に求めた単一スタンドに対する結果がそのままタンデム成形にも当てはまることになる。しかし、台形に成形する第4スタンドにおける両者の比 P/P_p は約0.27となり、この値は内弧形の場合のそれとは大中に異なっている。

5. 結 言

廣幅鋼板へ台形のみぞ付け加工をロール成形法で行なうため、初段のロール穴形を円弧状にした場合の成形荷重と成形条件因子との関係を実験的に求め、その結果を用いて、成形荷重を算定するための計算式を導いた。この計算式はここに述べた実験範囲においては十分な精度を持ち、実際の設備を設計する場合にもそのまま当てはめて差支えないものと思われるが、いま一つの簡便な実験法として、ダイプレス法による成形荷重の予測についても検討を行なった。その結果として、ダイス内に含まれる鋼板長さおよびダイスの片方に出ている誘起変形領域の長さとともに200 mm以上あれば、鋼板に円弧状のみぞを加工する場合、ダイプレス実験から得られた成形荷重からロール成形のそれと、単一スタンドの場合のみならず、タンデム成形の場合にも、容易に推定できることを示した。

文 献

- 1). 小門, 小野田, 石倉, 杉田, 広野 : 鉄と鋼 日本鉄鋼協会第78回講演大会講演概要集 670頁
- 2). 小門, 小野田 : 塑性と加工 vol. 13, no. 137 (1972-1)
- 3). 鈴木, 木内, 中島, 赤坂 : 塑性と加工 vol. 10, no. 102 (1969)
- 4). 益田, 室田, 神馬, 玉野, 福田 : 塑性と加工, vol. 6, no. 54 (1965)