

金属帯板の送り曲げ加工に関する研究

職業訓練大学校 塑性加工科

講師 小川 秀夫

(昭和62年度研究開発助成 AF-87020)

1. 研究の背景

金属帯板から円管を製造する方法に、プレス成形法とロール成形法がある。長尺管の製造、生産性の面では、ロール成形法が不可欠、有利な加工法であるが、設備費、金型費の面ではプレス加工法の方が有利であり、多品種少量生産に対応しやすい。

最近、製品機能に対する高度な要求や多様化に伴い、規格管としてロール成形法で製造されている管以外に、特殊な寸法、あるいは材質へのニーズが高まっている。しかもそれらの管の長さはプレス加工で成形可能な寸法をこえる長尺の範囲であり、生産量も少量であることが多い。

金属帯板の送り曲げ加工はこうした背景に基づいて、長尺円管の多品種少量生産を対象とした新しい加工法を提案するものである。

送り曲げ加工法の具体的な加工形態は、長尺帯板をプレス機械の上下運動に同期して、所定の長さずつ曲げ型内に送り込み、円管に成形して行くものである。したがって、概括的にはプレス成形法とみなすこともできるが、曲げ型内での帯板の変形挙動はむしろロール成形法でのそれに近いものであって、プレス成形法とロール成形法の両者のよさをいかした加工法であるといえる。

2. 研究の目標

送り曲げ加工法による円管への成形法としてUO成形方式を取り上げた。成形品

(c) 節点力がちょうど0になる（工具から板が離れる）。

（工具に接しているすべての節点について）

(d) 弾性状態にある要素が除荷する場合。

（ r をきわめて小さくする。ここでは $r = 0.01$ にとった）

このアルゴリズムを導入することにより、工具との接触、分離の判定、それに対応する境界条件の改更が自動的に行うことが可能になった。

(2) U曲げ過程

シミュレーションの結果、成形過程、ならびに成形力について次のようなことが分かった。

U曲げ成形初期にポンチ頂部にあった板との接触点は、成形過程に離れ、ポンチ側方に移動していく。U曲げ終了後には板はポンチ頂部から完全に離れており、板と工具との接触点は左右ダイス肩とポンチ両側面の4点となる（図1）。以上のような実際の変形にきわめてよく一致する数値シミュレーションは、接触問題を解決することによってはじめて可能となったものである。

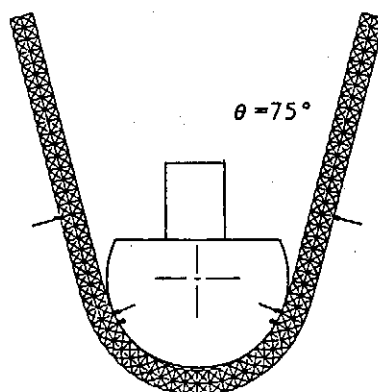


図1. U曲げ過程のシミュレーション例

U曲げ成形力は、U曲げ開始と同時に急激に大きくなり、成形過程中期で最大値を示した後減少する。2次元問題として得られた成形力の結果から送り曲げ加工の

成形力を算出しが、その結果は実験結果とよく一致し、送り曲げ加工での成形力を推定する第1近似としては十分であることを確認した。

通常のUO成形では、U曲げ後、成形品は型から取り出され次のO曲げ行程へ移される。送り曲げ加工においても成形品は型から離れ、所定の長さだけ送られる。このとき成形品（U曲げ品）は除荷されスプリングバックする。シミュレーションにおいても実際の成形と同様に、U曲げ完了後スプリングバックの計算を行った。

曲げ角 89° （水平面から立ち上がったフランジまでの角度）でU曲げを完了し、この状態から除荷、スプリングバックの計算を行った。スプリングバック後曲げ角は 85.2° に変化し、そのときのシミュレーション形状は実験結果ときわめてよく一致した。

(3) O曲げ過程

U曲げ、スプリングバックを完了した成形品を上下一対の反円形のポンチとダイスによってO曲げした。シミュレーションでも実際のO曲げ成形と同様に、ポンチに与えた変位速度によって変形が進行するものとした。シミュレーションの結果、O曲げ過程に関して以下のことが分かった。

O曲げ過程では、まずU曲げ品の左右フランジが中央に寄せられ、互いに接触した後、O曲げ下型になじむように成形が進行する。このときU曲げ品と下型との接触位置は型底部から側方へ移動し、U曲げ品は型底部から離れる。

O曲げ上型へのなじみはその下方から上方へと進行する。上型内面に作用する力は、型を左右に広げようとする成分が大きい。図2にO曲げ過程のシミュレーションの1例を示す。

O曲げ過程での荷重の急激な増加は、左右フランジの接触時、上型へのなじみ開始時、O曲げの最終段階で生じる。

O曲げの最終段階では、互いに接しているフランジ端が管周方向に圧縮され、板厚が増加する。十分な曲げが与えられず直線状となつたフランジ端は成形の最終段

階まで残留する。

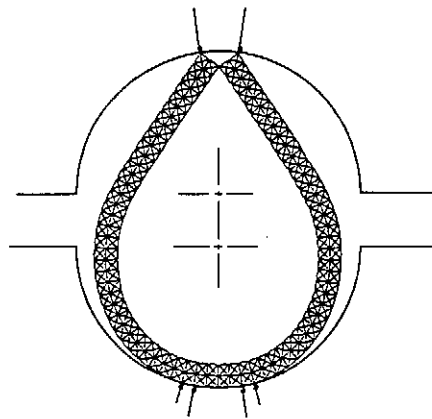


図2. O曲げ過程のシミュレーション例

U曲げ過程と同様の手法により、2次元問題としてのシミュレーション結果から送り曲げ加工でのO曲げ荷重を算出した。成形開始直後に荷重は急増し、単調増加の段階を経てO曲げの最終段階で再び急増する。計算結果と実験結果はきわめてよく一致した。

送り曲げ加工での成形過程や成形力のシミュレーションが複雑となるのは、曲げ型の長手方向で変形量が変化するため、曲げ型各位置での接触状態の特定が困難であること、O曲げ最終段階での型内面への接触状態が不明確（通常のUO成形においても）なためである。しかし、接触問題を解決したことによって送り曲げ加工での成形力、ならびに成形過程を正確に求めることができ、製品精度、加工設備など実生産にあたってきわめて重要な結果を得ることができた。

4. おわりに

天田金属加工機械技術振興財団の助成金により、有意義な研究を進めることができたことに感謝いたします。なお、研究助成金の一部により購入したパソコンによってもシミュレーションプログラムの実行、結果の作画ができるようになっている

ことを付記します。

5. 発表論文

小川秀夫・牧野内昭武：金属板材の曲げ加工による円管成形の有限要素法 シミュレーション、職業訓練大学校記要、第18号A（1989），PP. 61-77