

円筒管スピニング成形性評価のための成形解析

塑正 木原 茂文(高松高専)
塑賛 石田 博昭(日本スピンドル)

塑正 *水本 宏明(日本スピンドル)
塑賛 飯尾 良夫(日本スピンドル)

1. 緒言

スピニング成形法は、塑性加工法の代表的加工方法の一つであり、自動車のホイールや各種機械構造部品或いは家電製品の部品の製造に用いられてきた。加工精度に及ぼす各種要因についての研究^{1, 2)}も報告されている。ところが、何れも実験による評価が主であり、シミュレーション技術を活用して評価を試みた例³⁾は極めて少ないのが現状である。

自動車用排気部品等の成形に用いられる円筒管のスピニング加工において、ローラ数を変えることにより、成形結果にどのように影響するかについてシミュレーションにより評価した。スピニング加工へのシミュレーション技術の適用の可能性についても検討する。

2. 計算方法と加工条件

外径 $D = \phi 120\text{mm}$ 、板厚 $t_0 = 1.5\text{mm}$ のフェライト系ステンレス材の円筒管を、外径 $\phi 100\text{mm}$ 、先端曲率半径 8mm のローラで成形する。加工条件は縮管率 0.45 、絞り角度 0.5rad である。固定したパイプの軸心周りにローラを公転させると共に、パイプ長手方向に往復運動させながら、徐々に半径方向に軸心に向かってローラを移動させることにより成形が進められる。

解析モデルを図1に示す。(a)が1ローラ用解析計算モデルであり、(b)が2ローラ用解析モデル、(c)が3ローラ用解析モデルである。何れも板厚方向に3層で分割し、総要素数5520の六面体要素でモデル化した。ローラはシェル要素でモデル化し、剛体として仮定している。ローラが一往復する間の半径方向移動量を一定とし、ローラ送り速度(F)とワーク外周をローラが公転する速度(S)との比である F/S 値を変えた計算を実施した。1ローラ成形では F/S 値が8, 10, 12, 15について計算し、2ローラ成形では12, 20, 24, 30の4種類、3ローラ成形では24, 30, 36, 45の4種類について計算した。JIS Z 2201の13B号を引張り試験することにより求めた素材の機械的性質

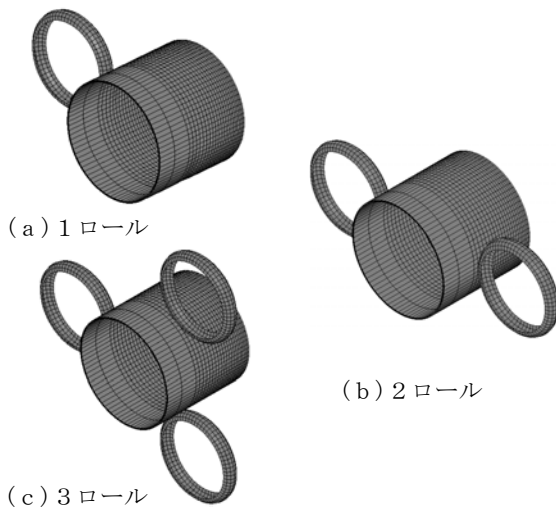


図1 解析モデル

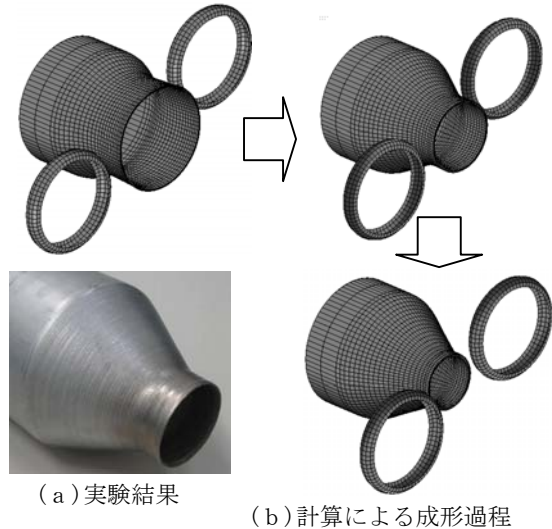


図2 F/S 値12の成形条件での2ローラ成形結果

をJohnson Cookの式で近似した。ヤング率 $E = 210\text{GPa}$ 、加工硬化係数 $a = 280\text{MPa}$ 、加工硬化指数 $n = 0.25$ である。計算には、動的陽解法で定式化された有限要素解析ソフトRADIOSS⁴⁾を用いた。

3. 解析結果と考察

2ローラ、 $F/S = 12$ の条件での成形結果を図2に示す。図(a)が実験結果、図(b)が成形過程を表した計算結果である。2ローラ、 $F/S = 12$ の成形条件では、徐々にテーパ部分が形成され、しわが発生することなく最終段階へ至っていることがわかる。実加工においても、しわが発生することなく、光沢のある良好な仕上げ面が得られた。

3種類のローラ数で F/S 値を変えた計算結果の一覧を表1に示す。2ローラ成形については、実験結果も示している。2ローラ成形での計算結果を見ると、 F/S 値12と20では、しわが発生することなく成形できている。 F/S 値24では、しわに成長する可能性があるうねりが縮径端部に確認でき、 F/S 値30で顕著なしわが観察された。実加工でも、 F/S 値12と20では成形できたのに対して、30ではしわが発生した。30の実加工品は、途中で成形を中断した状態のものである。 F/S 値24での実験では、しわが発生する場合と発生しない場合が見られ、2ローラ成形では、 F/S 値20が成形限界であると見ることができ、表中のしわが発生した結果の写真は仕上げパスなしの結果であるため、表面が粗い状態のままである。

F/S 値が12の成形条件では、成形領域の初期長さに対する成形後の長さの比である伸び率は、実加工においては1.3となり、計算では1.24の結果が得られた。計算誤差は5%程度であり、計算では実際の成形状態を十分な精度で再現出来ていると言える。 F/S 値24の時の伸び率は、計算では1.21、実験では1.26となり、 F/S 値を12から24に増大することにより、伸び率は3%程度減少する結果が得

表1 F/S 値を変えた時の成形状態

1ローラ	2ローラ		3ローラ	
計算結果	計算結果	試験結果		計算結果
F/S=8 	F/S=12 	F/S=12 		F/S=24
F/S=10 	F/S=20 	F/S=20 		F/S=30
F/S=12 	F/S=24 	F/S=24 		F/S=36
F/S=15 	F/S=30 	F/S=30 		F/S=45

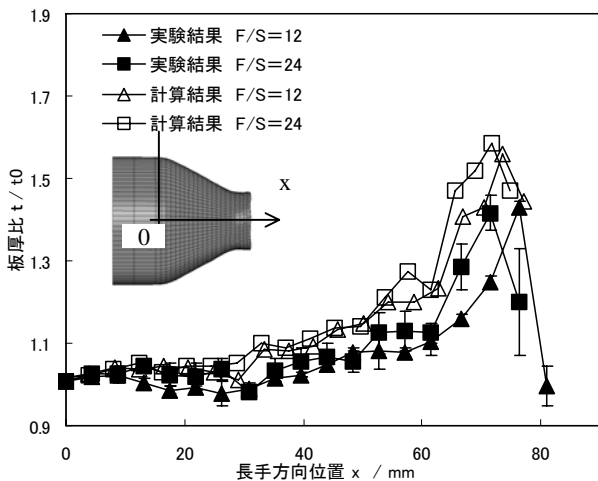


図3 F/S=12,24 の成形条件下での2ローラ成形時の板厚分布

られた。計算と実験から、 F/S 値が増大することにより伸び率が小さくなることが示された。

1ローラ成形時の F/S 値8では成形途中で縮径部端面にうねりが発生したものの、最終段階では、しわが形成されることなく正常に成形できる結果が得られた。 F/S 値10では、成形途中に発生したうねりが、最終段階においても縮径端面の局部にうねりとして残っている。 F/S 値が12, 15になると、さらに顕著なしわが発生しており、1ロ

ーラ成形では、 F/S 値8が成形限界であると言える。3ローラ成形では、 F/S 値が30までは成形途中でうねりが発生することもなく最終段階まで正常に成形でき、36以上で成形不良となる結果が得られた。このことより、3ローラ成形では、 F/S 値の限界は30から35の間にあると判断することができる。

図3に $F/S=12, 24$ の成形条件下での成形領域における板厚を示す。初期板厚で正規化した板厚比を縦軸に表し、成形位置を横軸に表している。実加工、計算結果共に、 F/S 値が異なることによる板厚分布に差異は見られないことがわかる。計算結果は、実加工結果を10%以内の精度で予測できており、十分な計算精度を有している。

4. 結言

円筒管スピニング加工についての実験と計算を実施し、以下の結論を得た。

- (1) 加工限界は、1ローラ成形では $F/S=8$ 、2ローラ成形では $F/S=20$ 、3ローラ成形では $F/S=30$ である。
- (2) 実用上十分な精度で、板厚分布と長手方向の伸び量及び加工限界を計算により予測可能である。

参考文献

- 1) 村田他：塑性と加工，42-481(2001-2)，42.
- 2) 荒井他：第56回塑加連講論，687.
- 3) 寺田他：平11春塑加講論，71.
- 4) RADIOSS THEORY MANUAL Version February 2000.