

Effect of Hardening Exponent on Tube bending

円管のプレス曲げにおける加工硬化指数の影響

電気通信大学 知能機械工学科

教授 村田 眞

(平成 19 年度国際会議等参加助成 AF-2007044)

キーワード: チューブフォーミング、曲げ加工、
加工硬化指数

開催日時: 2007 年 10 月 7 日～10 月 11 日

開催場所: KAIST ,Daejeon ,Korea (韓国)

国際会議報告:

Advances in Materials and in Materials and Processing Technologies(AMPT)は、1993 年より各国持ち回りで行われる生産技術に関する国際機会である。今年は、韓国の太田(Daejeon)で 10 月 7 日～11 日まで開催された。

ソウルより南方へ 200km 離れた太田市には、韓国の国立研究所 KAIST(Korea Advanced Instituted of Science & Technology)がある。

発表論文は 209 編で、23 カ国からの参加があり、発表当日は、座長も行い、更なる研究に尽力をつくしたい。

以下に発表内容を記述する。

1. 緒言

曲げ加工精度や加工速度等で、プレス曲げ、引張曲げ、回転引き曲げ等多くの曲げ加工法が開発され、工業分野で使用されている。それぞれの曲げ加工法の特徴に関する研究がなされてきた^{1)～4)}。しかし、円管の曲げ加工において、円管の機械的性質が、円管の形状等に与える研究はほとんど見られない。そこで、本件研究ではプレス曲げにおいて加工硬化指数が、曲げ半径やスプリングバックに与える影響について、FEM 解析より検討を加えた。

2. 円管の機械的性質、計算手法と実験手法

2.1. 曲げ加工機と円管の機械的性質

曲げ加工法には、Fig.1 に示すような、よく用いられているプレス曲げを採用した。ダイスの半径 $\rho = 152.4\text{mm}$ である。円管の曲げの中立面の半径 $R = 171.5\text{mm}$ で、曲げを評価した。

円管の直径は $D_0 = 38.1\text{mm}$ で、肉厚は $t_0 = 1.8\text{mm}$ である。有限要素法により、円管の曲げ加工の数値解析を行う時、Table1 に示す値を用いた。材料の応力ひずみ関係は式(1)で示される。

上述のように、加工硬化指数が変化した時の、応力ひずみ線図は Fig.2 に示す。円管は曲げ加工後、Fig.3 に示す様に扁平する。その扁平の評価を式(2)で、行われた。

2.2 計算手法と実験手法

円管の曲げ加工の解析は、Fig.4 に示す様に円管は軸対象であるため、4 分に 1 について行った。

加工硬化指数は Table1 に示される様に、 $n = 0.1, 0.3, 0.5, 1.0$ と変化させられ、計算が行われた。

有限要素法には、汎用コード FLFEN を使い、シェル要素が用いられた。

計算のため、円管は Fig. 4 に示す様に、周方向に 20 分割、軸方向に 60 分割された。この曲げ加工において、扁平化を抑制するマンドレルは使用していない。

3. 計算結果およびその検討

FEM による、加工硬化指数とスプリングバックの関係を示したものが Fig.5 である。図に示すように、同じ曲げ半径で、曲げ加工する場合には、加工硬化指数は、スプリングバックにあまり影響を及ぼさない。FEM によるスプリングバックの値は約 5% である。加工硬化指数によって、スプリングバックが若干の差が現れるのは、Fig.2 に示すように、同じひずみ分布をしても、応力において若干の差があるため、残留応力分布に差が生じるためである。

加工硬化指数を変えて FEM で解いた、ひずみ分布を Fig.6 に、応力分布を Fig.7 に示す。同図に示すように、加工硬化指数を変えても、ひずみ分布も応力分布も変化せず、ほぼ同じ様な分布をしている。曲げ半径が同じならば、加工硬化指数の変化はスプリングバック影響を与えない。

加工硬化指数を変えて FEM で解いた、周に沿っての肉

厚ひずみ分布を Fig.8 に示す。図に示す様に $\theta = 0$ は、曲げの内側を示す。図に示されるように、 $\theta = 90$ 度でひずみは零と成り、この近傍に中立面が存在する。加工硬化指数を変えてもひずみ分布に差は無く、ほぼ同じ分布をしている。加工硬化指数を変えて FEM で解いた、扁平率を Fig.9 に示す。 η_1 は本来 η_2 と絶対値でほぼ等しくなるが、曲げダイに変形が拘束されるため、 $\eta_1 = 0$ と成っている。加工硬化指数を変えても扁平率に差は無く、ほぼ同じ値である。

$$Sp = (\rho - R_0) / R_0 \quad (2)$$

$$\eta = (D_{\max} - D_{\min}) / D_0 \quad (3)$$

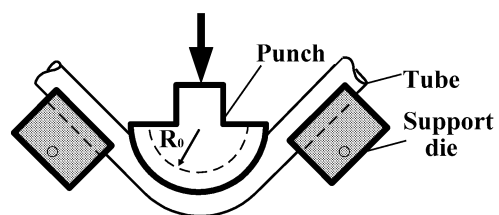


Fig.1 Schematic representation of press bending

Table 1 Simulation parameters

Yield stress, Y /MPa	200
Hardening exponent, n	0.1, 0.3, 0.5, 1.0
Hardening coefficient, K /MPa	180
Young's Modulus, E /GPa	193
Poisson's ratio, ν	0.32
Tube's initial diameter, D_0 /mm	38.1
Tube's initial thickness, t_0 /mm	1.8
Bending stroke, S /mm	250
Bending factor, R/D	4.5

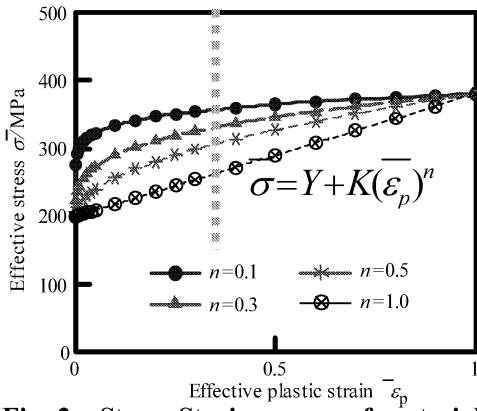


Fig. 2 Stress-Strain curves of materials used in the simulation

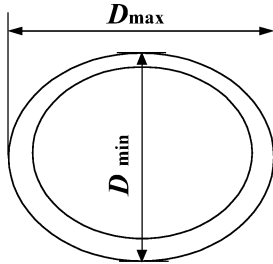


Fig. 3 Flattening of bent tube

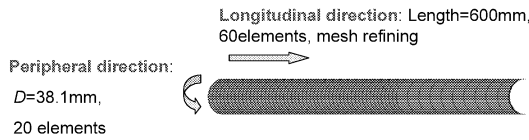


Fig. 4 Mesh refining

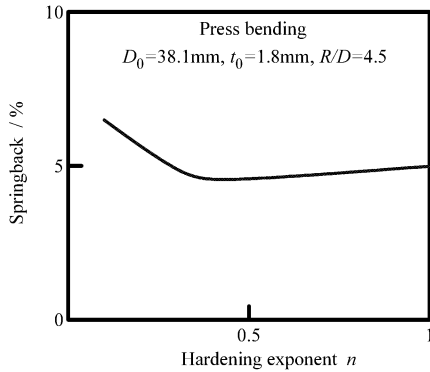


Fig. 5 Effect of the hardening exponent on springback

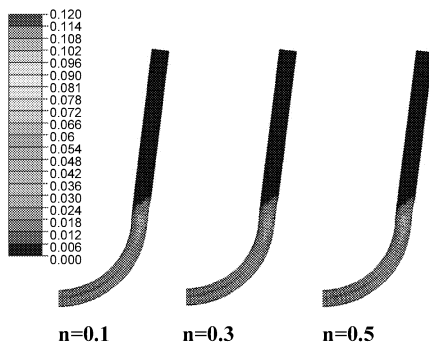


Fig. 6 Effect of the hardening exponent on effective strain

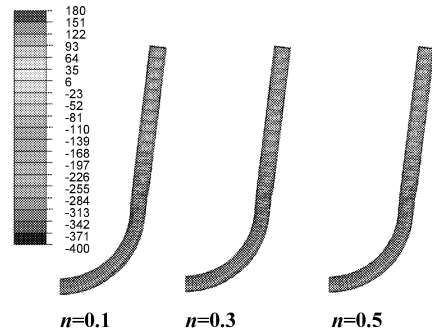


Fig. 7 Effect of the hardening exponent on axial stress

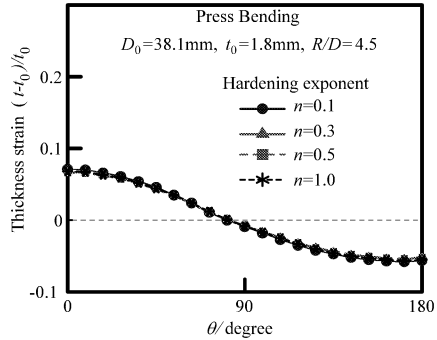


Fig. 8 Effect of the hardening exponent on distribution

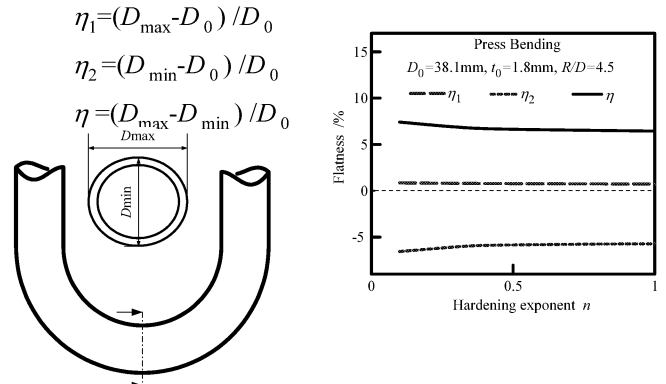


Fig. 9 Effect of the hardening exponent on the tube flattening

4. 結 言

円管の曲げ加工では、加工硬化指数を変えても、円管の寸法と曲げ半径が同じならば、スプリングバック、肉厚ひずみおよび断面の扁平に影響を与えることは少ない。このことは、FEM 解析によって示された。

謝 辞

この研究は天田金属加工機械技術振興財団のご援助により研究開発を行うことができましたことを記し、天田金属加工機械技術振興財団に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) M. Murata : J. Japan Institute of Light Met, Vol56-5(2006)283.
- 2) I. Ochiai : JSTP Journal , Vol23-255 (1982) 290.
- 3) R. Tagaki : JSTP Journal , Vol23-255(1982) 282.
- 4) H. Yamatake : JSTP Journal Vol10-103(1969) 618.