

T 形材押出し製品の曲がり予測

Prediction of Curvature of Extruded T-shape Products

木 内 学*・陳 仁 泰**

Manabu KIUCHI and In-tai JIN

1. は じ め に

T 形材の押出し加工は、製品断面の非軸対称性のために、ダイスの形状・寸法によって被加工材の変形挙動が大きく変化し、所要の製品を得るための適切な加工条件や工具形状を決めることは容易でない。特に製品が長手方向に曲がりを持って押出される場合、この曲率と加工変数との間にどのような関係があるかについては、これまで十分に研究されておらず、適確に予測できない状況であった。近年、筆者らにより上界法を用いた押出し加工に関する汎用性の高い解析手法が見出され、従来得られなかった計算結果を系統的に得ることが可能となってきた。しかし、依然として非軸対称押出しの際の製品の曲がりの発生の正確な予測については問題が残されていた。

本報では T 形材の押出しの際の製品の曲がりの予測が可能な新しい速度場を提案し、製品の曲率とダイス形状その他の加工条件との関係について検討した結果を報告する。

2. 曲がり解析用三次元的可容速度場の構成

2.1 一般化三次元的可容速度場

三次元的可容速度場が満たすべき条件は (1) 体積一定の条件、(2) 体積流れ一定の条件 (3) 工具面上での速度と工具面形状との適合条件、(4) 剛塑性境界及び内部せん断面での速度の連続条件、である。この条件と次の仮定を導入する。1) 被加工材は等方性剛塑性体であり、剛塑性境界はダイス入口及び出口における y 軸に垂直な面で表される。2) 被加工材内の任意の点の回転方向速度は y 軸からの距離 r に関して、変数分離形の関数で近似できる。3) y 軸を含み、かつ回転方向速度が既知である面が少なくとも一つは存在する。ここでは T 形材の対称面

がこれにあたり回転方向速度はゼロである。

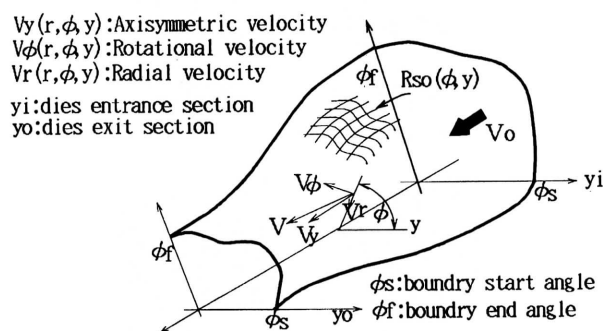


Fig. 1 Generalized analytical model of non-axisymmetric extrusion

$$\frac{\partial V_r(r, \phi, y)}{\partial r} + \frac{V_r(r, \phi, y)}{r} + \frac{\partial V_y(r, \phi, y)}{\partial y} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_\phi(r, \phi, y)}{\partial \phi} = 0 \quad (1)$$

$$\int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_{so}(\phi, y)} V_\phi(r, \phi, y) \cdot r \cdot dr \cdot d\phi = \int_{\phi_s}^{\phi_f} \int_0^{r_{so}(\phi, y)} V_0 \cdot r \cdot dr \cdot d\phi \quad (2)$$

$$V_r(r_{so}(\phi, y), \phi, y) = V_y(r_{so}(\phi, y), \phi, y) \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial y} + \frac{V_\phi(r_{so}(\phi, y), \phi, y)}{r_{so}(\phi, y)} \cdot \frac{\partial r_{so}(\phi, y)}{\partial \phi} \quad (3)$$

$$\Delta V_y(r, \phi, y) = 0 \quad (4)$$

*東京大学生産技術研究所 第2部

**客員研究員、釜山工業大学

研 究 速 報

$$\dot{W} = \dot{W}_i + \dot{W}_s + \dot{W}_f \quad (15)$$

ただし、 $\bar{\sigma}$ は被加工材の変形抵抗、 $\dot{\bar{\epsilon}}$ は相当ひずみ速度、 V_p は塑性域、 s, f はせん断境界面、摩擦境界面、 ΔV_s 、 ΔV_f はそれぞれ s, f 上での相対すべり速度、 m は摩擦定数、 dV は被加工材の微小体積、 dS, dA は s, f 上の微小面積を表す

3. 解析結果及び考察

3.1 ダイス境界面上および出口面の速度分布

解析モデルは、Fig. 4 に示すようにアスペクト比が異なる T 形押し製品とする。Fig. 5 と Fig. 6 はこの製品を加工するためのダイス形状である。

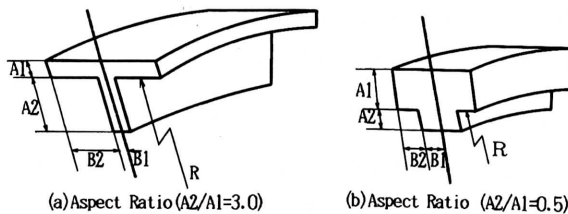


Fig. 4 Product shapes

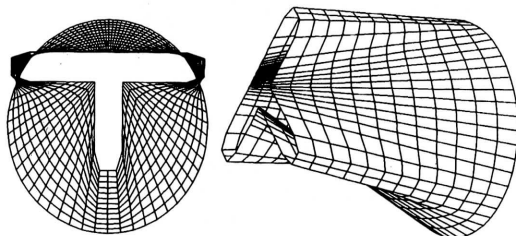


Fig. 5 Straight boundary contour of die (A.R=3.0)

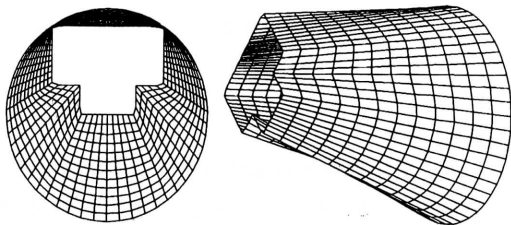
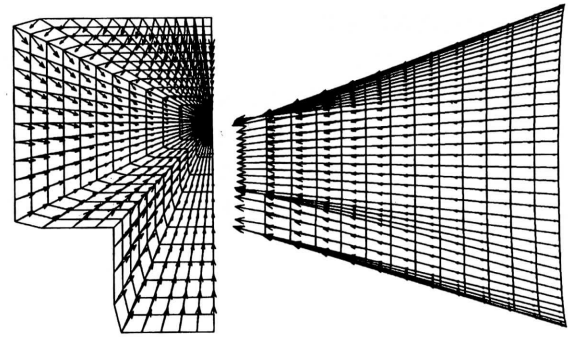
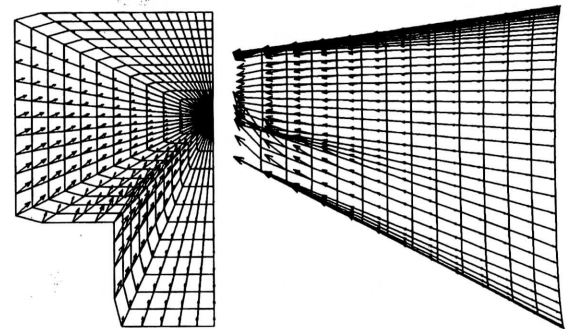
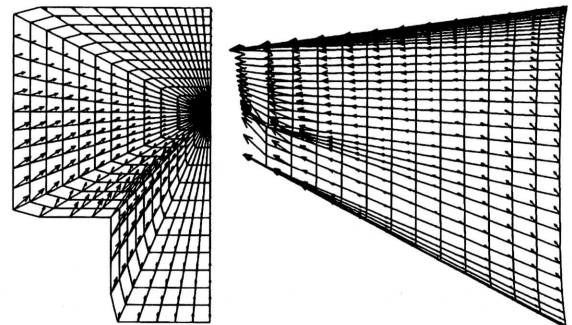


Fig. 6 Straight boundary contour of die (A.R=0.5)

Fig. 7 は、重心偏差量 (EC) がゼロとなる場合のダイス境界面上の三次元速度分布と、ダイス出口面上の二次元速度分布を示す。Fig. 8 は、重心偏差量 (EC) が 20 mm で出口での押し出し方向の速度が一樣とした場合の速度分布である。Fig. 9 は、Fig. 8 と同じ重心偏差量で、押し出し方向の速度分布が塑性仕事を最少とする場合である。この速

Fig. 7 Velocity distribution on the die and die exit section ($EC=0.0$)Fig. 8 Velocity distribution on the die and die exit section ($EC=20\text{mm}$)Fig. 9 Velocity distribution on the die and die exit section ($EC=20\text{mm}$, curving velocity)

度分布によって製品に曲がりが発生することがわかる。

3.2 ダイス出口面上の速度勾配 θ_0 と押し出し加圧力

製品の曲がり曲率はダイス出口断面上の軸方向速度勾配によって決まる。そこで出口断面での速度勾配 θ_0 と押し出し加圧力 (P_m) の関係から、押し出し加圧力を最低とする速度勾配の値を調べた結果を、他のパラメータの影響とともに Fig. 10 に示す。

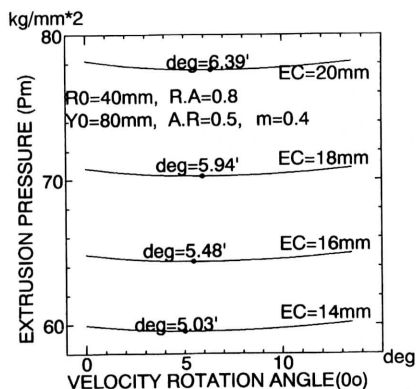


Fig. 10 Velocity rotation angle on the exit section and extrusion pressure

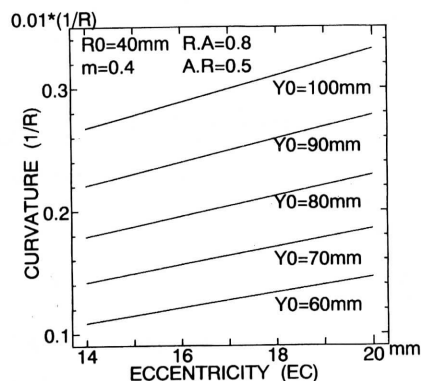


Fig. 11 Eccentricity and curvature

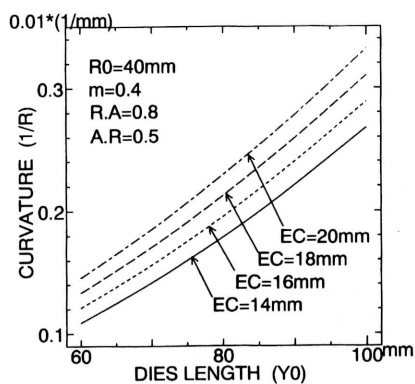


Fig. 12 Die length and curvature

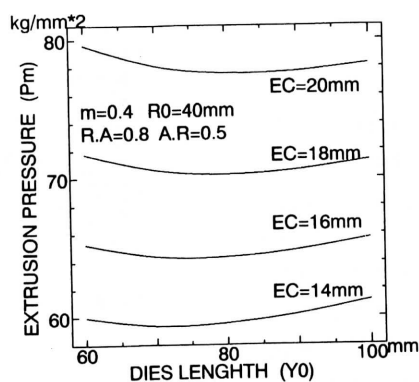


Fig. 13 Die length and pressure

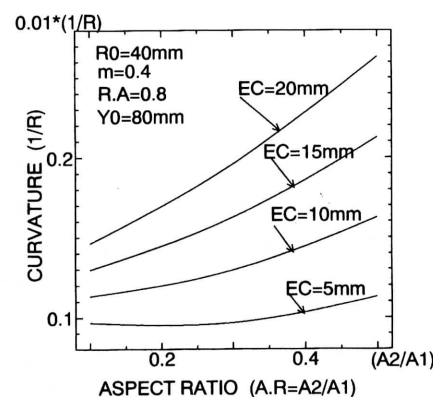


Fig. 14 Aspect ratio and curvature

3.3 重心偏差量 (EC) と製品の曲率

Fig. 11 から重心偏差量が大きくなると製品曲率も大きくなり、重心偏差量が製品の曲がりを支配する重要な加工変数であることがわかる。

3.4 ダイス長さ (Y0) と製品の曲率

Fig. 12 からダイス長さによって製品の曲がり曲率が変わり、ダイスが長くなるほど曲がり曲率も大きくなることわかる。

また、Fig. 13 には押し加圧力とダイス長さとの関係を示す。

3.5 アスペクト比 (AR) と製品の曲率

Fig. 14 は製品断面のアスペクト比と曲がり曲率の関係を示す。アスペクト比が大きくなると曲がり曲率も大きくなる。また、重心偏差量とアスペクト比が同時に大きくなればさらに曲がり曲率が大きくなることわかる。

4. ま と め

T 形材の押し製品の曲がりに対する加工変数の影響を解析するために、加工中のダイス内部の被加工材中に曲がりを表現し得る動的相容速度場を構成した。この速度場は、ダイス出口断面の軸方向速度の勾配と量を変数として含んでおり、塑性仕事率を最低とする速度勾配即ち曲がりを予測することが可能である。曲がりを発生させる重要な変数は出口断面重心の偏差量、ダイス長さ、T 形材断面アスペクト比、摩擦定数であり、これらの値が大きくなるほど曲がり曲率が大きくなることが判明した。

(1995年5月9日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 星野ほか: 塑性と加工. 30-336 (1989), 43.
- 2) 木内, 星野: 第41塑加連講論 (1990). 29.
- 3) 木内, 岡里: 平4年春塑加講論 (1992). 302.
- 4) 星野, 小原: 平5年春塑加講論 (1993). 432.