

803 テーラードブランク材のインクリメンタル成形の数値的検討 Numerical Simulation of Incremental Forming of Tailored Blank

正〇 山下実(岐阜大工) 正 服部敏雄(岐阜大工) 正 西村尚哉(岐阜大工) 学 山田賢治(岐阜大院)

Minoru YAMASHITA, Toshio HATTORI, Naoya NISHIMURA, Kenji YAMADA, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

Key Words : Tailored Blank, Joint Line, Incremental Forming, Numerical Simulation, Sheet Metal

1. 緒言

製品の多品種化および開発・設計期間の短縮化の要求に答えるため、金属板製品の加工法としてインクリメンタル成形法が注目され、多くの実験的研究がなされている^{1, 2)}。この成形法においては、変形部は成形工具周辺に限られるものの、成形工具の移動経路に応じた複雑なひずみ履歴を生じる。著者らは、実験と数値計算で同成形法における各種影響因子が成形性に及ぼす影響について検討してきた^{3, 4)}。

本報では、インクリメンタル成形の適用範囲拡大を狙って、テーラードブランクを成形素材とした。特に素材強度が変化する継ぎ目近傍の変形に注目して数値計算で基礎的検討を行った。成形形状は半円断面の真直溝と四角形容器とした。

2. 計算条件

使用したソルバーは動的陽解 FEM コード DYNA3D(Public domain version)である⁵⁾。計算モデルの例として、半円断面の真直溝のインクリメンタル成形のものを図 1 に示す。被加工材料の板厚方向の変形も詳細に検討できるように、8 節点ソリッド要素を用いて板厚方向は 4 層に分割した。その外周節点で変位および回転運動を拘束した。被加工材料は弾塑性を仮定し、塑性特性は n 乗硬化型とした。各種特性を表 1 に示す。被加工材料は板厚 0.25 mm、一辺 14.5 mm の正方形板で、中央対称線上に継ぎ目がある。塑性係数を一定(300 MPa)として、 n 値を変えて塑性特性に差を与えたブランク、 n 値を一定として塑性係数を変えたものについて計算した。

成形工具の先端は半径 1 mm の半球形状で、剛性を仮定し 4 節点シェル要素で表した。成形工具の速度を 20 m/s と設定して計算効率を上げた。この程度の速度域までは慣性が変形に及ぼす影響は限定的であることが、著者の一人によって確認されている³⁾。

一方、固定工具の正方形穴の対辺長さは 12.5 mm であり、板と接する箇所丸み半径は 1 mm とした。固定工具も剛体とした。工具と材料間の摩擦は無視した。以上の条件は、後述の溝および四角筒容器の成形に共通である。

3. 真直溝の成形における継ぎ目の変形挙動

被加工材の塑性特性の影響を検討しやすくするため、成形形状は半円断面の真直溝形状(深さ 2 mm)とした。成形工具を板面に 0.5 mm 垂直に押し込んだ後、板面と平行に 6 mm 移動させ、そこで再度押し込んで平行移動させる経路を繰り返して溝を成形した(図 1 参照)。成形工具が継ぎ目を垂直に横切る経路と初期の継ぎ目線上を移動する経路について検討した。

まず、前者の工具経路について、最終形状における板厚ひずみ分布と断面形状を図 2 に示す。塑性係数を一定として加工硬化指数が異なる板を成形する場合、加工硬化指数の大きい材料で塑性変形の伝播性が高いことは、溝端部の押し込み位置付近の板厚ひずみに顕著に現れた。また、継ぎ目付近の板厚ひずみに関しては、溝部での板厚ひずみの差異はあまりないものの、溝周辺の継ぎ目に沿ってひずみの変化が大きい領域が見られた。垂直断面形状については、いずれの条件でもほぼ同様であり、全体形状に及ぼす影響は小さいと言え

る。

また、加工硬化指数を一定とした場合、塑性係数の差が大きくなると、溝部の継ぎ目部で板厚ひずみの不均一が目立った。また、垂直断面形状の溝底部において、継ぎ目付近ではうねりを生じており、形状精度の低下も見られた。もちろん、変形抵抗の差が継ぎ目近傍のひずみ挙動に影響するが、ここで設定した n 値ではひずみがある程度の大きさになると現れにくかった。継ぎ目材料の変形抵抗の差が大きい場合、継ぎ目近傍は板厚が局所的に薄くなるという点で破断危険部位と言える。

つぎに、成形工具を初期の継ぎ目線上を移動させた場合について、板厚ひずみ分布と断面形状を図 3 に示す。変形抵抗の小さい材料側で変形が大きく、継ぎ目部が図中では左側に移動しており、前述の場合と同様、継ぎ目に沿って線状にひずみの大きい領域が現れた。また、成形工具が当たっていない板面側には顕著な段差が現れた。板厚ひずみについては、この場合、-1.47 が最小であった。成形工具が継ぎ目を横断して成形する場合では、-0.73 であり、継ぎ目方向に対する成形工具移動方向の影響は顕著であるといえる。

4. 四角形容器の成形における継ぎ目の変形挙動

工具等の各寸法と成形工具経路を図 4 および 5 にそれぞれ示す。成形工具の先端半径は 1 mm である。成形工具は、板面に 1 mm 押し込まれた後、外側から中心へと渦巻状に移動し、中心で再び 1 mm 押し込まれて、渦巻状に外側へ移動して戻ってくる。すなわち、成形工具の押し込み深さは 2 mm である。成形工具は、継ぎ目を横断して移動する。

板厚ひずみ分布を図 6 に示す。工具経路と継ぎ目線の関係

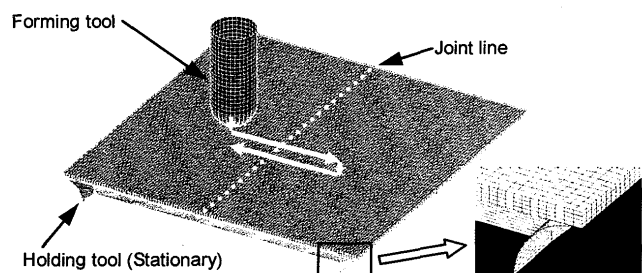


Fig. 1 Numerical model for the forming of straight groove, where the punch locates at the initial position traveling across the joint line.

Table 1 Specifications of sheet material.

Density	2700 kg/m ³
Young's modulus	72 GPa
Poisson's ratio	0.33
Plastic property	$\sigma = c\epsilon^n$
Combinations of c and n -values of tailored blank	$n_1 = 0.30$ and $n_2 = 0.10, 0.20, 0.30$ under $c = 300$ MPa (const.) $c_1 = 300$ and $c_2 = 100, 200, 250, 300$ under $n = 0.30$ (const.)

が同じ図 2(b)の場合と同様に継ぎ目部近傍でひずみの変化が目だった。側面形状については、強度差が大きいと継ぎ目ではっきりと段差を生じた。また、この成形における全体としての変形領域は溝成形のものより広く、深さが同じにもかかわらず、最小のひずみは-0.97で図 2(b)の-0.73よりも小さかった。

参考文献

- 1) 井関日出男他：塑性と加工，38-438(1997)，611.
- 2) 松原茂夫：塑性と加工，42-489(2001)，991.

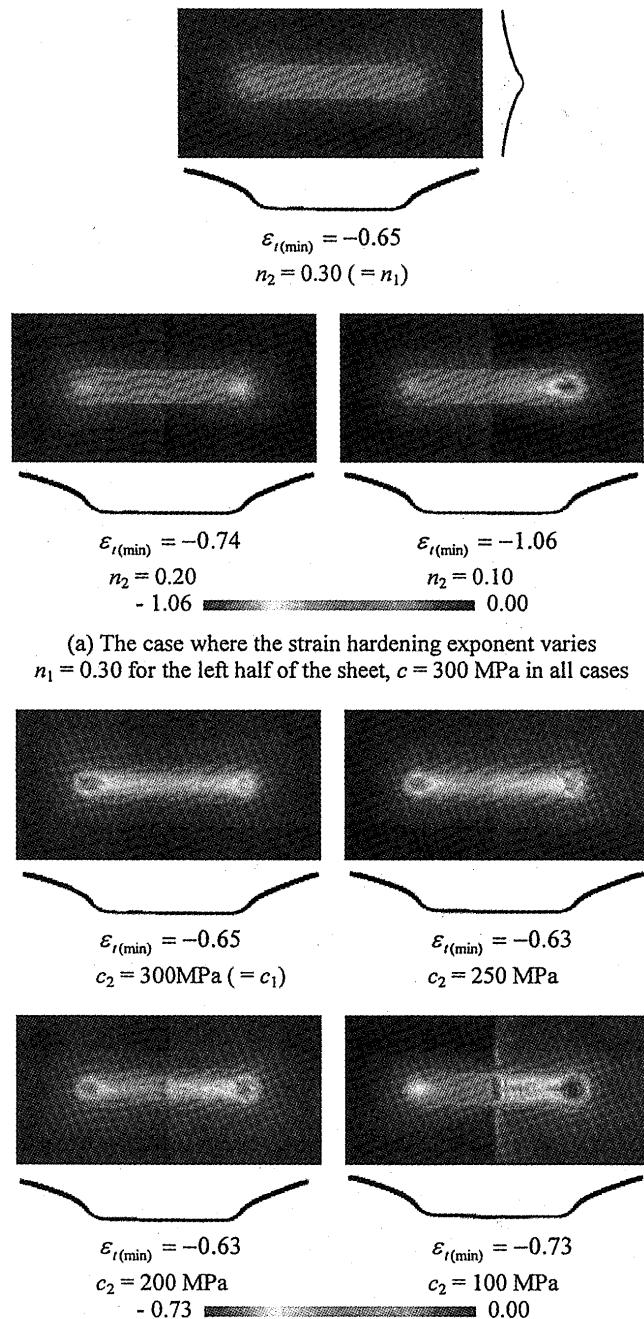


Fig. 2 Distribution in thickness strain of the forming of groove where the forming tool travels across the joint line.

- 3) 山下実他：54回塑性加工連合講演会論文集(2003)，431.
- 4) 山田賢治他，機械学会東海支部55期論文集063-1，(2006)，183.
- 5) DYNA3D User's manual, 1989.

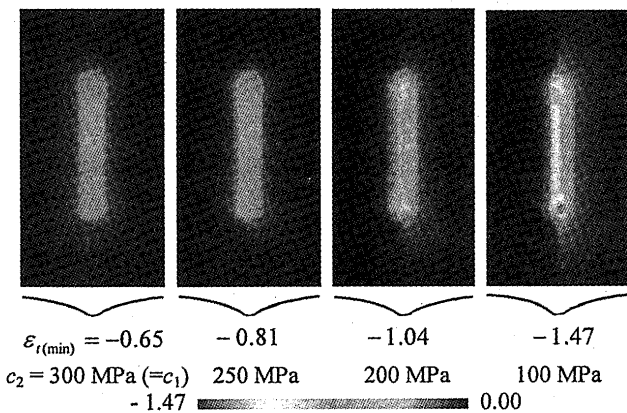


Fig. 3 Distribution in thickness strain of the forming of groove where the forming tool travels along the joint line. $c_1 = 300$ MPa for the left half of sheet, n -value = 0.30 in all cases

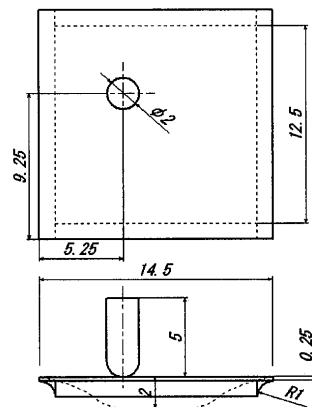


Fig. 4 Dimensions in the incremental forming of square cup.

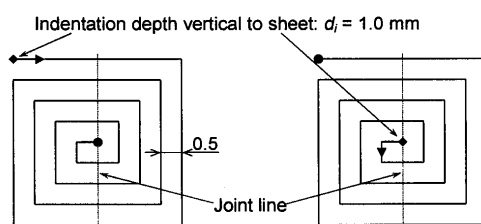


Fig. 5 Tool path along sheet plane with two times of indentation.

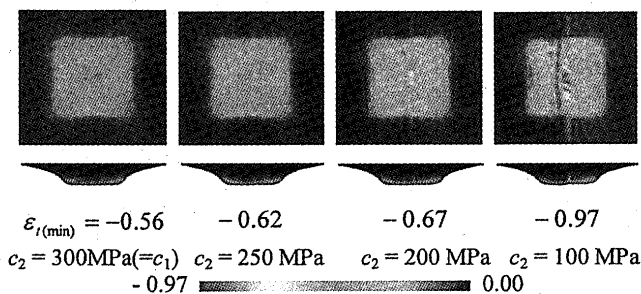


Fig. 6 Distribution in thickness strain for the forming of square cup. $c_1 = 300$ MPa for the left half of sheet, n -value = 0.30 in all cases