

極薄ステンレス板の冷間・温間成形におけるスプリングバック

和氣 靖人 (和氣製作所)
 和氣 庸人 (和氣製作所)
 機正 鹿園 直毅 (東大生研)

生田 四朗 (和氣製作所)
 機正 柳本 潤 (東大生研)
 機正 *池内 健義 (東大・院)

1. 序論

超軽量・超高強度構造体は、自動車や航空機等の輸送機器だけでなく、移動用情報躯体や熱交換器といった小型のものから、巨大建築物といった大型のものまで幅広く適用することで、エミッション低減、エネルギー効率向上といったメリットがもたらされる¹⁾²⁾。超軽量・超高強度構造の実現には、成形と接合の研究が重要である。まず、薄肉かつ高強度な材料を成形する必要があるが、比強度(引張強さ/密度)が高い薄肉の材料はスプリングバック量が大きく、目的の形状に成形することが困難である。そのため、高温でのプレス成形が行われる場合があるが、各種材料における成形条件とスプリングバックの関係を体系的に調査した研究は少ない。

本研究では、極薄ステンレス板成形時のスプリングバックを明らかにする。スプリングバック量が大きい0.1mmの極薄板について温間V曲げ実験を行い、材料の成形温度および硬さや金属組織から、成形性について評価した結果を示す。さらに超小型熱交換機への適用を想定し、実際のフィン成形に温間プレス成形を使用した例についても示す。

2. V曲げ実験

2.1 実験方法

高温・高速精密圧縮試験機にて90度V曲げ実験を行った³⁾。Fig.1に試験機内に設置した金型および試験片の形状と温度制御位置を示す。金型材はタングステンカーバイド、曲げ半径RはR=2mm、曲げ角度は90度である。供試材は、一般的なオーステナイト系ステンレス鋼板であるSUS304、高温での耐食性に優れたSUS316、およびフェライト系ステンレス鋼板であるSUS430である。寸法は幅10mm・長さ30mm・板厚0.1mmである。実験中の温度は試験片曲げ部(塑性変形部分)Aの正確な温度制御のもとで行った。試験中の試験片温度は誘導加熱によって目標温度に制御される。制御の精度は±10℃程度である。パンチストロークは下死点においてパンチとダイの斜面間隔が板厚と同じ0.1mmになるよう制御されており、最下点で試験片が90度に曲げられる。またパンチ速度は1mm/sで実施した。実験中の試験片温度およびパンチストロークは以下のように制御した。試験片は50℃/sで成形温度まで加熱され、到達後5秒間保持したあと成形される。成形は恒温状態を維持したまま行われる。成形終了後、パンチを上昇させ誘導加熱電流を切断し、試験片を空冷した。

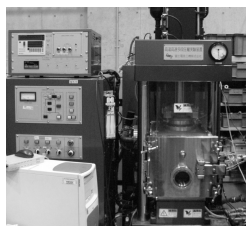


Fig. 1 Setup of die, punch, and specimen.

2.2 実験結果

Fig.2に冷間(20℃)および温間(600℃)温度域でのV曲げ試験結果を示す。温度により試験片の曲げ角が異なることが観察できる。これをスプリングバック量として数値的に評価した。スプリングバック量 $\Delta\theta$ は次式にて計算した。

$$\Delta\theta = \theta - 90^\circ \quad (1)$$

式中の θ は除荷後の角度、 90° は目標曲げ角である。除荷後の角度は、試験片断面をデジタルカメラで撮影した画像について、それぞれの内側表面および外側表面の角度をCADソフトにより計測し、その平均をとった。

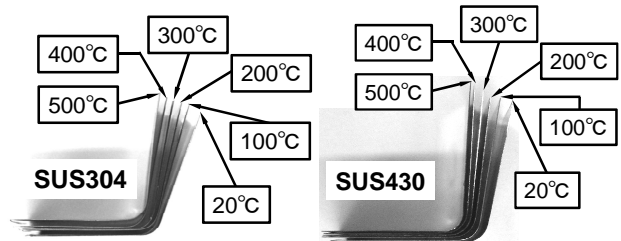


Fig. 2 Geometries of formed products.

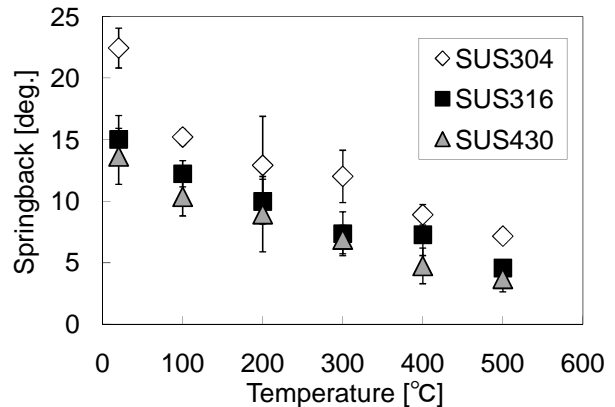


Fig. 3 Relationship between springback and forming temperature for different material.

材料および成形温度ごとのスプリングバック量を比較したものをFig.3に示す。室温での冷間成形においては、15~20度以上あったスプリングバックが、500℃での成形で5度程度にまで抑えられていることがわかる。また、どの成形温度でもスプリングバック量の大きさはSUS304, SUS316, SUS430となる。またスプリングバック低減の挙動は材料ごとに若干異なっているが、どの材料も300℃に加熱して成形することでおよそ半分に、500℃で加熱して成形することでおよそ1/3程度に低減できるという特徴は共通している。

材料ごとにそのスプリングバック低減の傾向は若干異なっていること、ダイ肩幅が板厚に比べ大きいこと曲げ戻し

変形が発生することなどのことから、今後もそのメカニズムの解明を進める必要がある。

3. フィン成形実験

3.1 実験方法

プレス金型にヒータを取り付け、極薄板をフィン形状に温間プレスする実験を行った結果を以下に示す。油圧式のプレス装置と金型、またこれらを設置した実験装置の模式図を Fig.4 に示す。2章の実験とは異なり、金型を加熱することで試験片の温間成形を実現する方法である⁴⁾。また、プレス装置の保護のため、装置と金型の間に冷却ユニットと断熱板をはさんでいる。温度制御は金型に設置した熱電対によって行った。また装置内にひずみゲージおよびロードセルが設置されており、試験片にかかる荷重を一定に保持することができる。実験では金型に試験片をはさみ、加熱ユニットで金型を目標温度まで加熱して、指定した荷重で加工した。また、金型材料には熱間工具鋼 SKD11 を、試験片はステンレス鋼薄板 (SUS304, SUS430) で、板厚は 0.1mm, 0.3mm (SUS304) または 0.2mm (SUS430), 0.5mm である。金型の先端半径は 0.3mm, しわピッチは 3mm, しわの角度は 30 度, 得られるフィン高さは 0.5mm である。

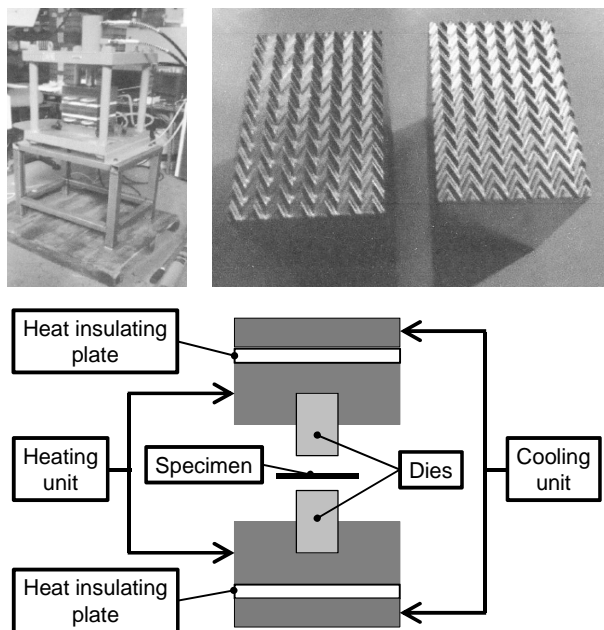


Fig. 4 Cold and warm fin forming system.

3.2 実験結果及び考察

取得した試験片について、Fig.5 のように形成された波状交差突起の高さを高精度形状測定器で測定した。金型で与えられる理想のフィン高さの 0.5mm に近いほど成形性が高く、遠いほど成形性が低いといえる。

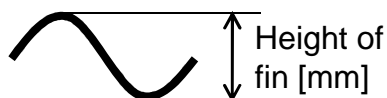


Fig. 5 Definition of height of fin.

成形温度を変化させ、フィン成形実験を行った結果を試験片材料ごとに Fig.7 および Fig.8 に示す。Fig.7 の SUS304 での実験では常温に比べ 0.05~0.08mm ほどフィン高さが

高くなっていることがわかる。スプリングバック低減効果は板厚が厚いとより向上することが分かった。一方 SUS430 は SUS304 ほど顕著なフィン高さの向上は見られなかった。また、SUS430 での比較的低温での成形を除いて、フィン高さは板厚が薄いほうが高くなっていることが分かった。

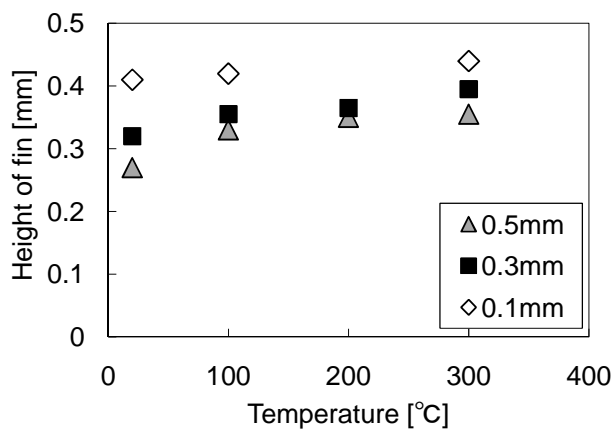


Fig. 6 Relationship between height of fin and forming temperature at different thickness. (SUS304)

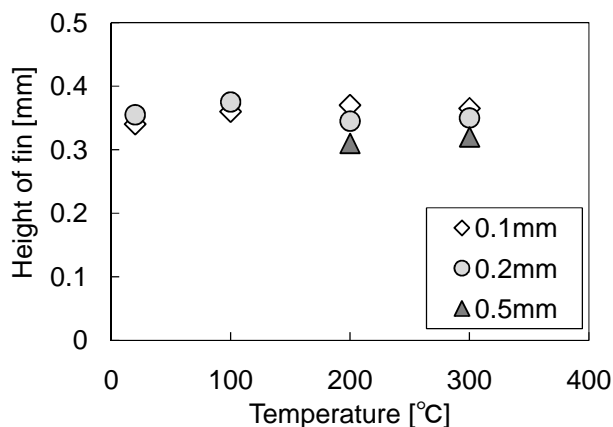


Fig. 7 Relationship between height of fin and forming temperature at different thickness. (SUS430)

4. 結言

ステンレス極薄板のスプリングバックについて、高精度材料試験機における V 曲げ実験と油圧プレス機によるフィン成形実験で調査した。スプリングバック量は、V 曲げ実験では成形温度 300°C で半分、500°C で約 1/3 となった。また、フィン成形実験でも温間成形によりスプリングバック量が低減できた。但し、材料の種類によりスプリングバック量の温度依存性には若干の違いが生じた。

謝辞

本研究の後半は、和氣製作所が関東経済産業局より受託した、平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業により行われた。

5. 参考文献

- 1) Kleiner et al.: CIRP Annals, 52(2), 2003, 521-542.
- 2) Kleiner et al.: J. Mater. Process Tech. 177, 2006, 2-7.
- 3) 河西ほか: 塑性加工連合講演会, 2008, 53.
- 4) Yanagimoto et al.: ISIJ International, 46(9), 2006, 1324-1328