

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21862

研究課題名（和文）廃棄金属管体の延性蘇生コールドリサイクルの可能性

研究課題名（英文）Possibility of cold recycling of discarded metal housing into ductile plates

研究代表者

北澤 君義（Kitazawa, Kimiyoshi）

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：90143825

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：廃棄金属管体の延性蘇生コールドリサイクル（廃棄金属管体を熔解せずに、室温状態で塑性変形させて、延性のある均一板厚の平板に戻す）の可能性に挑戦した。コールドリサイクル中のインクリメンタル平坦化における変形集合組織のランダム化に着目し、その制御因子と考えられるインクリメンタル平坦化のハンマリングの成形ピッチを変えて、延性蘇生の発現を調べた。その結果、成形ピッチを小さくして製造された硬質アルミニウムのコールドリサイクル板では、その曲げ性が素板を上回ることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

廃棄金属管体を熔解せずに室温状態で塑性変形させて平板に戻すコールドリサイクルが可能になれば、熔解過程を経ないため温室効果ガス排出量が激減する。しかしコールドリサイクル板は、加工硬化部の低延性によりその再成形は難しい。このためコールドリサイクルの成否は延性の蘇生にある。コールドリサイクル過程のインクリメンタル平坦化による変形集合組織のランダム化という新発想の視点から延性蘇生の可能性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We examined the possibility of cold recycling of discarded metal housing into ductile plates with a uniform thickness by plastic deformation at room temperature without melting the metal. We focused on the randomization of the deformed texture observed during incremental flattening for cold recycling and examined the recovery of ductility by changing the pitch of hammering during incremental flattening. The pitch of hammering is considered to control the level of randomization. The results indicate that the bendability of hard aluminum plates that were cold-recycled with a small pitch was superior to that of original plates.

研究分野：塑性加工学

キーワード：コールドリサイクル 廃棄金属管体 延性蘇生 インクリメンタル平坦化 変形集合組織 曲げ性 アップグレード インクリメンタルフォーミング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 金属薄板二次成形の多品種少量生産化への対応を目的に 1990 年代から金型を用いずに金属薄板を自在形状に張出し成形するインクリメンタルフォーミングの研究を行ってきた。この研究過程で、金属管体を元の薄板形状へインクリメンタルフォーミングで戻す着想を得た。

(2) 金属管体はその製造段階の曲げ成形でコーナー部が減肉する宿命を有している。従って平板形状に戻す過程で減肉部を増肉化して、板厚均一な薄板へ戻す必要がある。試行錯誤の末、インクリメンタル平坦化手法を開発し、熔解過程を経ないで金属管体を板厚均一な薄板へ戻すコールドリサイクル(図 1)の可能性が見えはじめた。このコールドリサイクルの成否は素板級の成形性が得られるか否かにある。当初は、インクリメンタル張出し成形した場合に成形限界が素板に近づくものの、プレス曲げ成形や深絞り成形の成形限界は素板には及ばなかった。

(3) コールドリサイクルの延性改善の取組の中で、延性蘇生の現象に遭遇した。プレス曲げ成形や円筒深絞り成形において、成形限界が素板に近い値まで近づくだけでなく、素板の成形限界を上回る場合(図 1)があることを発見した。この実験結果は、インクリメンタル平坦化による変形集合組織の周期的蛇行現象の発現に起因して割れの発生・成長が抑制される可能性を示唆しており、本研究の変形集合組織のランダム化という新着想に至った。

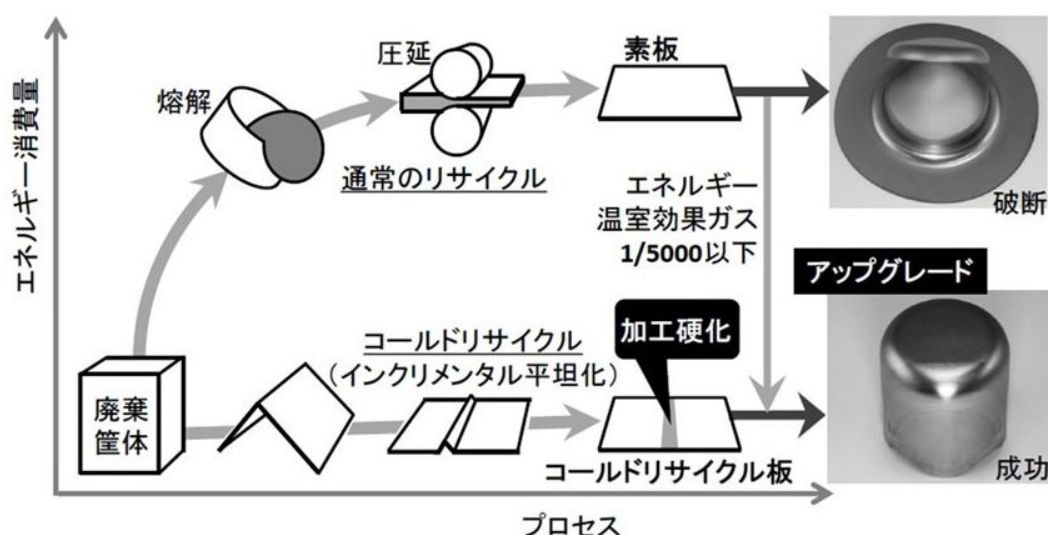


図 1 コールドリサイクル(インクリメンタル平坦化部が加工硬化による低延性状態と考えられるため、既往の学理からは、素板級あるいは素板以上の成形性は不可能。しかし、素板の成形性を上回る現象に遭遇した)

2. 研究の目的

従来、不可能とされていた延性蘇生コールドリサイクルの可能性を明らかにする目的で、コールドリサイクル中のインクリメンタル平坦化条件のうちで、変形集合組織のランダム化の制御因子と考えられるインクリメンタル成形ピッチに着目し、このピッチを小さくすることにより、コールドリサイクル板の成形性(主に曲げ性)が素板を上回る延性蘇生の新学理(変形集合組織のランダム化とこれによる微小割れの停止の機構)の解明をめざした。

3. 研究の方法

(1) コールドリサイクル中のインクリメンタル平坦化条件のうちで、変形集合組織のランダム化の制御因子と考えられるインクリメンタル成形ピッチを小さくして、板厚均一なコールドリサイクル板を製造した。図 2 に示すようにインクリメンタル平坦化には、空回りする 6 個のワークロールを有するロール工具(プラネタリーロール)を用いた。プラネタリーロールの回転数を N 、テーブルの送り量を V とすると、インクリメンタル成形ピッチ IP は $V/(6N)$ となり、 $V=35\text{ mm/min}$ 、 $N=135\text{ rpm}$ に設定した場合、ランダム化のピッチは $IP=43\text{ }\mu\text{m}$ になる。インクリメンタル成形ピッチは、プラネタリーロールの回転数 N を大きくするに従い小さくなる。

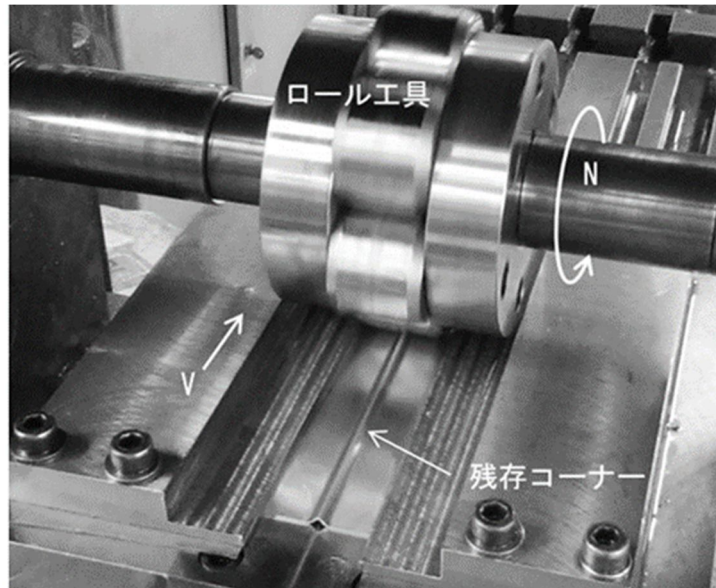


図2 インクリメンタル平坦化(筐体角部は筐体製造の曲げ加工段階で減肉しているため、この角部を残存コーナーとして残した状態にいったん曲げ戻した後、残存コーナー部をロール工具でインクリメンタル平坦化し、この減肉部を素板の板厚以上に増肉化した。その後、余肉部を切削除去して素板と同じ均一板厚のコールドリサイクル板を製造した)

(2) コールドリサイクル板の成形性(延性)評価は、図3に示すヘミング(曲げ角度 180° のヘアピン曲げ)の曲げ性で評価した。ヘミングは素板の最小曲げ半径及びこれよりも小さい曲げ半径(素板に巨視的な割れが発生)の条件で行い、各曲げ半径の条件下における、曲げ稜線上の微小割れの発現挙動を調べ、曲げ性を評価した。この曲げ稜線上の表面観察では、曲げ稜線上に露出するせん断帯に起因する新生面の発現過程と新生面からの微小割れの発生過程および微小割れの成長過程を可視化するために金スパッタ法を用いた。比較のため、素板についても同一方法で調べ、コールドリサイクル板との比較から、素板を上回る曲げ性が発現するインクリメンタル成形ピッチを解明した。

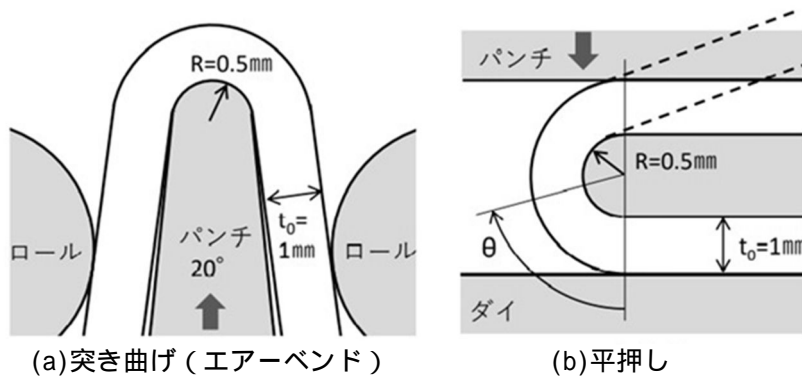


図3 ヘミングプロセス(曲げ試験片を突き曲げ後、平押しにより 180° のヘアピン曲げ)

4. 研究成果

(1) 硬質アルミニウム板の筐体から製造されたコールドリサイクル板の曲げ性 (180° ヘミング) に対するインクリメンタル平坦化条件の影響を探った結果、予想通り、変形集合組織のランダム化の制御因子と考えられるインクリメンタル成形ピッチを小さくすることにより、曲げ稜線上の微小割れの発生と成長が停止し、コールドリサイクル板の曲げ性が素板(筐体製造前段階の薄板)よりも向上「アップグレード」することが明らかになった。

(2) 矯正過程を組み込み、インクリメンタル平坦化過程に続く余肉除去過程(板厚を素板と同一にする過程)で、インクリメンタル平坦化部表層の余肉除去量を大きくすると、曲げ性がさらに向上することが明らかになった。この結果は、硬質アルミニウムのコールドリサイクル板の内部に高延性の領域が存在していることを示している。

(3) 硬質アルミニウム板の筐体から製造されたコールドリサイクル板のアップグレード発現条件下では、室温状態にもかかわらず、インクリメンタル平坦化過程に素板レベルまで加工軟化

することが明らかになった。すなわち、インクリメンタル平坦化の強変形過程中に当初予想した変形集合組織のランダム化のほかに室温加工軟化も生じるために、延性蘇生コールドリサイクルが可能になる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 北澤君義, 和田紘明
2. 発表標題 コールドリサイクルアルミニウム板のヘミングの曲げ成形性
3. 学会等名 2021年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北澤君義, 和田紘明
2. 発表標題 コールドリサイクルアルミニウム板の加工軟化現象
3. 学会等名 2021年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------