

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：50104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820026

研究課題名(和文) 接合強度の改善を目指した新しい接合圧延プロセスの確立

研究課題名(英文) Novel methods for improving the bonding strength of roll-bonded sheet metals

研究代表者

千葉 良一 (Chiba, Ryoichi)

旭川工業高等専門学校・機械システム工学科・准教授

研究者番号：10506083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：繰返し重ね接合圧延法の基礎となる冷間接合圧延技術に関して、接合界面に導入される塑性ひずみ量を増加させる新しい接合圧延法を提案し、その方法による接合強度の上昇量をT型はく離試験によって定量的に評価した。(1)表面処理を行わない面を含む板材を4枚重ねて、それらを同時に圧延する方法、(2)Equal Channel Angular Rollingという強ひずみ加工法を通常の接合圧延の直後に施す方法の両者において、従来の冷間接合圧延法よりも高い接合強度を持つ板材(接合体)を生み出す可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：As a bond strength-enhancing method for roll-bonded sheet metals, new methods are proposed: (1)four sheets are simultaneously rolled to form two sets of roll-bonded sheet metals, and (2)the equal channel angular rolling (ECAR) is performed immediately after the conventional roll bonding. The proposed methods were applied to 1-mm-thick AA1100-O aluminum alloy sheets, and the effectiveness of the proposed methods for improving the bond strength were quantitatively examined through T-peel tests. It was found that the latter method may improve the bond strength for rolling reductions over a certain value, which is about 55%, owing to additional plastic (shear) strain introduced to the bonded interface by ECAR.

研究分野：塑性加工

キーワード：塑性加工 圧延 接合 薄板 アルミニウム はく離 せん断みずみ レーザー加工

1. 研究開始当初の背景

(1)背景

近年の輸送機器に求められる「軽量化と高強度化」を同時に満足する手段として、結晶粒の微細化による軽金属の強化技術が注目され、塑性加工分野における研究のトレンドになっている。微細結晶粒を有する板材を製作する有力な方法の一つに、繰り返し重ね接合圧延(ARB)がある。ARBを概説すれば次のようになる：(I)2枚の金属板表面に脱脂、ワイヤブラッシングの表面処理を施し、(II)積層して電気炉で加熱する。その後(III)接合圧延を行い、(IV)圧延された物を長手方向で2等分する。これら4工程を1サイクルとして繰り返すことによって結晶粒を徐々に微細化させていく。

ARBの利点としては、材料に元素添加を必要としないためリサイクル性が良いこと、既存の圧延プロセスの延長であるために導入が容易であること等が挙げられる。しかし、この方法により作製された板材は、過度の負荷がかかると接合界面から剥離が生じるといった欠点を有する。材料が剥離してしまうと、剥離箇所での局部座屈等の可能性があり、構造材として使用する際には注意を要する。このような現状から、接合圧延における板材の接合強度を向上させる技術の開発が強く望まれている。

(2)国内外の研究動向と問題点

これまでに報告されたARBもしくは接合圧延に関する文献調査を行うと、接合強度を実測したものや接合強度の改善策を提案しているものは、国内・国外を問わず非常に少ない。おそらく、接合圧延時の圧下率(一度の圧延でどれだけ薄くするかの程度)を非常に高く設定すれば、理論的には、十分な接合強度を得ることができるため、あえてこの方面の研究に着手しない研究者が多いのだろうが、圧下率の上昇は圧延機にかかる負荷(圧延荷重、圧延トルク)を増大させることにつながり、間違いなく汎用圧延機では実現が困難になってしまう。つまり、それ専用の特殊な圧延機でしか実現が不可能となってしまう。ARBの産業への普及を抑制することにつながってしまう。

2. 研究の目的

(1)接合強度の改善策の着想

接合圧延などの塑性加工によって金属同士を接合させる場合、その接合強度向上のためには一般に接合面の酸化膜を除去すること、加熱することで原子の拡散を活発化させる。接合界面の変形量(塑性ひずみ)を増加させることで原子の移動を促す(塑性変形は原子のズレである)。接合面同士の結晶方位を一致させ、原子配列を同じにさせることが有効である。本研究においては、と

の性質に着目して新しい接合圧延プロセスを開発する。これまでの圧延研究を通して応募者が着想したそのアイデアについて説明する。

アイデア(i)：一般の接合圧延では、接合界面は加工ひずみの最も小さい板厚中央に位置している。そこで、(I)表面処理が施された面同士を合わせて重ね合わせた板を2組用意し、(II)それらをさらに重ねてから加熱したのち、(III)中央面はあえて脱脂・ワイヤブラッシングせずに圧延することで、接合された板材を一度に2枚得る。次に、(IV)それぞれの板を長手方向で二等分する。これら4工程を1サイクルとして繰り返す。これにより、接合界面を圧延ロール接触面により近い位置へと移動させることができるため、圧下率を増加させなくとも接合面により大きな加工ひずみを導入可能で、接合強度の上昇が期待できる。

アイデア(ii)：Equal Channel Angular Rolling (ECAR)という新しい強ひずみ加工法を通常の接合圧延の直後に施し、接合界面に追加の塑性ひずみを導入することで接合強度を高める。ECARとは、ある角度で曲がったスリット内に板を強制的に通し、板全体にせん断ひずみを導入する加工法である。ECAR用のダイスは既存の圧延機に容易に取り付け可能である。

アイデア(iii)：接合面の酸化膜の除去手段として、レーザー照射を利用する。

(2)明らかにすること

研究の対象材料を、1mm厚の工業用純アルミニウム板(焼きなまし材)に絞り、これに上記(i)~(iii)のアイデアに沿った接合圧延を種々の圧下率の下で施して接合体を得る。また、通常の接合圧延からも接合体を得る。両者に対して剥離試験を行い、接合強度を定量的に評価する。得られた結果を比較することで、接合強度の改善に対するそれぞれのアイデアの有効性を調査する。

3. 研究の方法

(1)圧延機の改良

接合圧延は通常の薄板圧延と比べてかなり高め(50%程度)の圧下率で一般に行うものであるため、手持ちの圧延機の土台フレームをその荷重に耐えられるように補強する。

(2)アイデア(i)に対する実験と数値解析による効果の検証

アイデア(i)に基づいた4枚積層接合圧延(ただし、接合面の表面処理はワイヤブラッシングによる)により、1mm厚の工業用純アルミニウム(A1100-0)の帯板同士を種々の圧下率で接合し、得られた接合体それぞれに対して、T字型剥離強度試験を行う。従来の接合圧延から得られたものと剥離強度を比較し、同一圧下率において接合強度がどの程度

向上したのかを定量的に評価する。また、実測したロール表面の摩擦係数および供試材の変形抵抗特性を入力パラメータとして、接合圧延加工の有限要素解析を行い、4枚積層接合圧延において塑性ひずみがどの程度追加導入されたのかを明らかにすることで、導入ひずみ量と接合強度上昇量との関係性を調査する。なお、剥離強度試験は、学内に設置されている万能試験機（島津オートグラフ）を用いて実施する。一方、数値解析は手持ちの非線形有限要素解析コード DYN3D およびプリポスト処理ソフト GID を用いて実施する。

(3) アイデア(ii)に対する実験と数値解析による効果の検証

アイデア(ii)に基づき、ECAR を伴った接合圧延（この場合も、接合面の表面処理はワイヤブラッシング）の実験を(2)と同様の供試材を用いて行う。そのために、まず、ECAR 用の治具（ダイス類）の設計・製作を行う。接合圧延実験後の接合強度の評価については、(2)と同様、T字型-剥離強度試験にて行う。また、接合圧延および後続の ECAR 加工の有限要素解析を行い、接合面付近への導入ひずみ量と接合強度上昇量との関係性を調査する。

(4) アイデア(iii)に対する効果の評価

接合圧延前の表面処理をワイヤブラッシングに代えてレーザーに変更し、通常の接合圧延を実施する。レーザーは新規購入する YV04-10W レーザーマーカー（コマックス社製）のものを利用する。1mm 厚の A1100-0 材の帯板同士を種々の圧下率で接合し、得られた接合体それぞれに対して、T字型-剥離強度試験を行う。ワイヤブラッシングを施した従来の接合圧延から得られたものと剥離強度を比較し、接合強度の変化量を定量的に評価する。特に、レーザーの走査間隔を変化させることで、接合体の接合強度に及ぼすそれらの影響を調べる。

4. 研究成果

(1) アイデア(i)の有効性

従来の（2枚重ね）接合圧延は、試験片終端を締結したことにより、（面内での）曲がり及び反り（面外変形）のない接合体が得られた。一方、提案する（4枚重ね）接合圧延は、締結による効果で（面内での）曲がりはなかったが、圧延ロールに沿った反りが発生した。

従来の接合圧延法と提案する方法のいずれにおいても、圧下率が 0.35 を下回った圧延では、試験片の接合が生じなかった。これは、他研究者らによるアルミニウム板同士の冷間接合圧延実験においても確認されており、本研究で提案する接合圧延法においても、従来の接合圧延法と同様の傾向が見られた。

図 1 に、はく離試験において得られた圧下

率とはく離強度との関係を示す。どちらの接合圧延法でも圧下率の上昇とともに、はく離強度の向上が確認できる。また、従来の接合圧延法に比べ、提案する接合圧延法の方が、はく離強度が高い分布になっている。

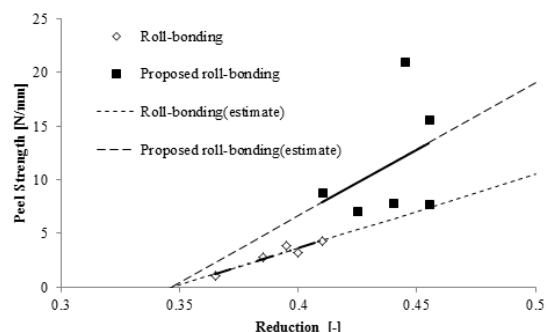


図 1 圧下率と剥離強度の関係

等径ロール等周速圧延により、接合界面に導入されるひずみ量を増加させる接合圧延法を提案し、この方法による接合強度の上昇量を定量的に評価した。

(2) アイデア(ii)の有効性

提案する接合圧延法を用いた場合、圧下率が 0.50 を下回る場合、供試材は接合されなかったが、それ以上の圧下率の場合には供試材は接合されており、表面は非常に硬くなっていた。

図 2 に、一般的な接合圧延と提案した接合圧延のそれぞれから得られた接合体に対する圧下率と剥離強度との関係を示す。両方法ともに、圧下率の上昇に伴う剥離強度の上昇が確認できる。

また、圧下率 0.50 付近では従来の接合圧延法に比べて提案する方法の剥離強度が劣るものの、圧下率 0.55 付近では強度の大小関係が逆転し、圧下率 0.60 においては従来の方法より剥離強度が約 40% も高いことがわかる。これは、圧延接合体の接合強度が後続のせん断変形に耐えられるほど十分に大きくないと、せん断変形が加わった際に部分的に板が剥がれてしまい、接合強度を低下させてしまうからであろう。

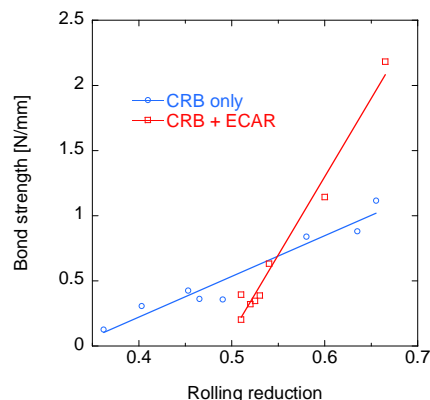


図 2 圧下率と剥離強度の関係

一般的な等径ロール等周速圧延と後続の ECAR によって、薄板の接合界面に追加の塑性ひずみを導入することで接合強度を高める新しい接合圧延法を提案した。また、接合強度の上昇に対する提案手法の有効性を T 型剥離試験により定量的に評価した。提案する接合圧延法は従来の方法と比べて、より硬い材料を作製でき、なおかつ一定の圧下率を上回ると ECAR の相乗効果が加わって、接合強度の向上へとつながる可能性が示唆された。

(3) レーザーを用いた表面処理法の有効性

冷間接合圧延前の試料の酸化皮膜を、 YVO_4 レーザーマーカーを用いて除去した後、従来の接合圧延を行った。得られた接合体に対して剥離試験を行い、レーザー照射条件の影響を調べた。変化させるパラメータとしては、レーザー走査速度および走査間隔である。レーザーの発振周波数を 20kHz に固定し、レーザーの走査速度を 200mm/s, 400mm/s に変化させ、200mm/s の場合は同一ラインを往復で走査させたものも試した。これらの条件下でレーザー照射し、照射幅および間隔を 1mm ずつ増やしていき(図 3)、酸化皮膜除去の影響を見る。



図 3 照射幅 4mm, 照射間隔 4mm の供試材

実験を行った結果、照射幅および照射間隔が 1mm と 2mm の場合、接合強度が低くなった。考えられる理由としては、圧延ロール間隙への試料投入時に、重ね合わせた試料同士が試料長手方向へ少しくずれてしまい、酸化皮膜を除去した部分としていない部分が重なり合い、その結果、接合強度が低くなったと考える。照射幅および照射間隔が 3mm, 4mm, 5mm の場合は酸化皮膜を除去した部分の面積が大きいため、試料同士が長手方向へ多少ずれても接合強度が上がったと考えられる。

実験結果の全体的な傾向として、レーザーの走査速度が遅く、かつ同一ラインを往復で走査させた場合に接合強度が大きく改善された。すなわち、試料表面の除去厚さと接合強度との間には正の相関がみられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 4 件)

Ryoichi Chiba, Kazuya Inada, Yumika Suga, Production of bonded sheet metals using a hybrid method of rolling and shear deformation, 4th Annual Conference on Engineering and Information Technology,

2016/03/30, 京都市サーチパーク(京都府・京都市)

佐藤博紀, 千葉良一, 圧延接合における導入ひずみ量と接合強度との関係について, 日本機械学会北海道支部 第 43 回学生員卒業研究発表講演会, 2014/03/08, 釧路高専(北海道・釧路市)

稲田和哉, 千葉良一, 佐藤博紀, 圧延とせん断変形のハイブリッド法による薄板接合体の製作, 日本機械学会北海道支部 第 43 回学生員卒業研究発表講演会, 2014/03/08, 釧路高専(北海道・釧路市)

佐藤博紀, 千葉良一, 圧延接合された金属板の接合強度の改善法, 第 57 回日本学術会議材料工学連合講演会, 2013/11/25, 京都テルサ(京都府・京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉良一 (CHIBA, Ryoichi)

旭川高専・機械システム工学科・准教授

研究者番号: 10506083