

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560174

研究課題名(和文) 軽量化構造を可能にするクリンチ接合の接合強度メカニズム探究の基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental researches of the joining strength mechanism research of the clinch joining to enable lightweighting structure

研究代表者

加藤 亨 (KATO, Toru)

石川工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：50612016

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：メカニカルクリンチングの接合後の強度メカニズムは、実験とシミュレーションによって検討した。メカニカルクリンチングは低コストで入熱のない接合法として、抵抗スポット溶接の代替え工法として、期待されている。今回の研究では接合断面形状と接合後の強度発生の相関について検討を加えた。正確な接合断面形状を特定するために、任意の断面から中心断面形状を導く方法を開発した。接合後の破壊モードは上板破断とインターロック分離の2種類とされていたが、インターロック分離には2種類の破壊モードが確認された。中心断面形状を導く式を用いて、断面と破壊強度の相関を考えたところ、上板破断荷重の予測式を構築できた。

研究成果の概要(英文)：The mechanism of strength of mechanical clinch joining was evaluated by an experiment and simulation. Mechanical clinching is expected as a substitution method of the resistance spot welding as the joining method without the heating and low cost. The relationship between joining cross-section and strength were evaluated in this study. The method to derive a central cross-section from any section was developed to identify a correct joining cross-section. The destruction mode after the joining was considered to be two kinds of an upper sheets break and the interlock separation, but two kinds of destruction modes were confirmed in interlock separation. The break load of upper sheet was devised using an expression to lead a central cross-section by the findings of the correlation of joining section and breaking strength.

研究分野：設計工学

キーワード：接合 異種金属接合 生産工学 プレス加工 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

地球環境の問題から、自動車、家電、筐体構造など幅広い産業で軽量化構造が望まれている。軽量化実現のために、産業界では従来の軟鋼板からアルミニウム合金板や高張力鋼板などの高比強度材の適用検討が始まっている。しかしアルミニウム合金板と高張力鋼板の接合において、従来工法の抵抗スポット溶接工法の適用は、融点の違い、脆弱な金属間化合物の生成問題などにより、困難である。そこで軽量化構造の開発に向け、産業界は入熱のない新しい接合法を求めている。特に重ね継手に新しい接合法が求められている。

新接合法開発に最も効果的な方法は、材料の塑性流動を用いた方法である。そこでリベット工法が考えられるが、1打点ごとに高価な消費が生じるため、さらなる開発が求められてきた。

これまでの研究で、パンチとダイにより板を局部成形して接合するメカニカルクリンチングを用いて、異種金属の接合を試みてきた。板の変形挙動を観察しながら、ダイ形状の最適化により、高張力鋼板とアルミ合金板の接合を実現できた。

2. 研究の目的

これまでのメカニカルクリンチの研究は、強度差のある異種金属の接合性拡大の研究であった。その結果、接合条件の最適化により、広範囲な板組に使用が可能となった。この研究結果を用いて、実際の筐体に適用を考える場合、接合点の強度が必要になる。接合条件検討実験を行い、強度実験を行い、適用性の検討を続けてきた。しかしながら、強度発生メカニズムは解明されておらず、市場は、今後の研究成果を待ち望んでいる。今回の研究により、メカニカルクリンチング接合における接合点の強度メカニズムを解き明かす。

3. 研究の方法

メカニカルクリンチングの接合は冶金的な接合ではなく、図1に示す機械的な上下板のインターロックにより接合されている。したがって、剥離強度の大小は、インターロック量の大小と相関が予想される。

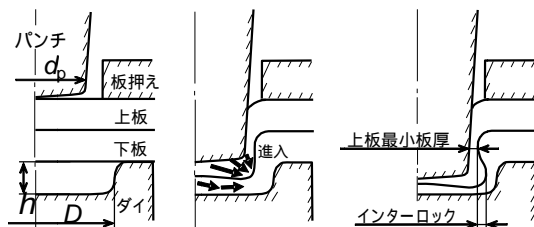


図1 メカニカルクリンチングの接合過程

今回の研究では、インターロック量の正確に測定する方法を開発し、剥離強度との

相関を検討しながら、強度発生メカニズムを構築していく。そこで、下記の3つを実施した。

- (1) 接合断面形状を正確に測定する手法の開発。
- (2) 接合体の剥離試験時に発生する破壊モードの正確な分類。
- (3) 接合後の剥離強度メカニズムを構築する。

4. 研究成果

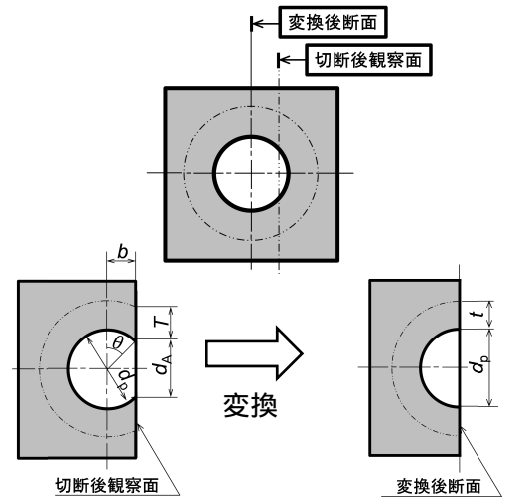
(1) 正確な接合断面形状の測定法の確立

接合体の断面形状を測定するには物理的にカットし、断面を測定する。断面形状測定には中心位置カットが必要であるが、中心部カットでは上下板が分離し、測定が困難である。そこで、下記式を導入し、任意位置断面の測定値から中心位置断面の上下板厚さを導いた。

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{d_p}{r_p} \right)$$

$$b = \frac{d_p}{2} \times \sin \theta$$

$$t = \sqrt{\left(T + \frac{d_A}{2} \right)^2 + b^2} - \frac{d_p}{2} \quad \dots (1)$$



(a) 切断面の測定 (b) 中心断面値

図2 任意断面測定結果の中心断面への変換

d_A , T はそれぞれ図2に示す任意断面におけるパンチ径、円筒部厚さの実測値である。 d_p はパンチ径であり定数である。 d_p と d_A の比から角度 θ を求め、切断ずれ距離 b を求める t は中心部の円筒部厚さである。

(2) 破壊モードの正確な分類

接合体の破壊実験により、図3に示す2種類の破壊モードが確認できた。上板破断とインターロック分離である。上板破断は接合時にパンチの押込みにより生じた上板

の局部的に板厚減少した部分で破壊している。インターロック分離は上下板のどちらかがインターロック量を超えて塑性変形し、抜けている。

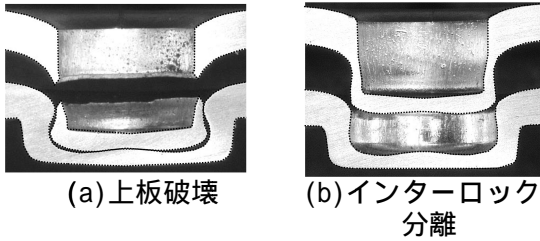


図3 剥離試験による破壊

インターロック抜けは図4に示す2つに分類される。1つは上板のインターロック部の変形による抜けであり、他は下板のインターロック部の変形である。この現象は強度差のある板組では、低強度板を設定した板のみ変形した。したがってメカニカルクリンチングの破壊モードの分類は、大分類として、上板破壊とインターロック抜け、インターロック抜けは上板変形抜けと下板変形抜けとなる。

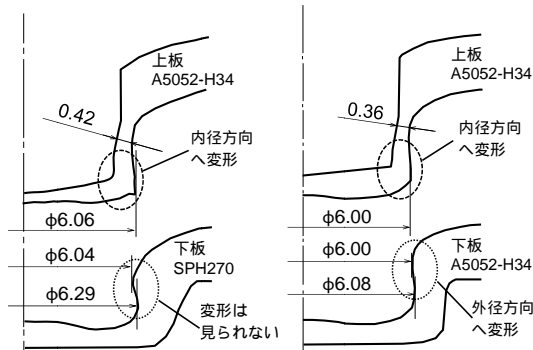


図4 インターロック抜けの2つのモード

(3) 上板破壊のメカニズム構築

上板破壊は接合部が上下に引張を受け、図5のように上板のくびれ部が破壊する現象である。そこで、接合体の剥離試験における上板破壊について、シミュレーションにより検討を加えた。図6は軸方向の応力分布を示す。接合直後の応力に対し、くびれ部の応力変化のみ増加しており、上板破壊現象は単純引張と考えられる。そこで、図7に示す亀裂面の上板断面積 A_U を用いて下記(2)式により破断したと考えた。

$$P_U = \sigma_B \times A_U \quad \dots(2)$$

ここで、 P_U は上板破断における破壊荷重、 σ_B は材料の引張強さである。

実験による剥離荷重と(2)式の計算結果の比較を図8に示す。よく一致しており、(2)式は上板破断荷重の予測として使用が可能と考えられる。

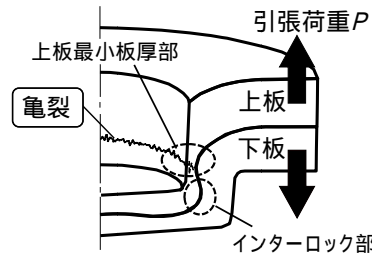
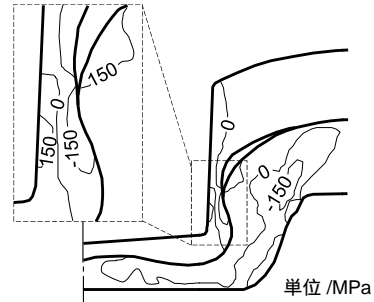
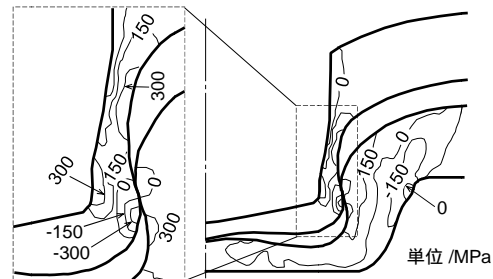


図5 メカニカルクリンチングの上板破壊部



(a) 接合直後の軸方向応力分布



(b) 剥離試験中の軸方向応力分布

図6 接合体の剥離試験のシミュレーション結果

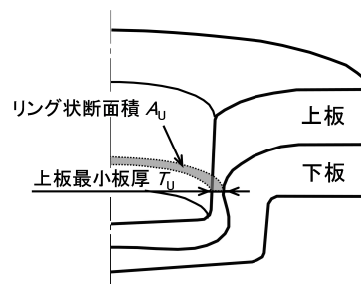


図7 上板破断発生時の断面積の仮定

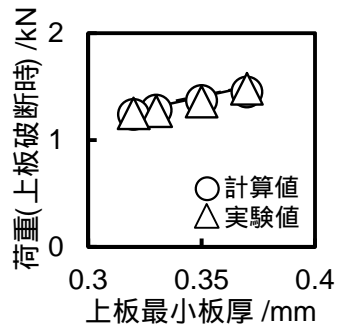


図 8 各板組における上板破断荷重の実験値と計算値の比較

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

加藤亨, 大垣内康平, 日本塑性加工学会北陸支部第 23 回講演会講演論文集, pp19-20.
メカニカルクリンチングを用いたアルミ合金板接合における十字引張強度の予測, 2014. 3. 13, 金沢工業大学やつかほりサーチキャンパス

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.m.ishikawa-nct.ac.jp/laboratory/kato/thesis.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 亨 (KATO, Toru)

石川工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号: 50612016