

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05740

研究課題名(和文)異種金属板におけるフラット機能を有する板鍛造接合の基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental study on sheet forging joining with flat function in dissimilar metal plate

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：セルフピアシングリベット工法やメカニカルクリンチ工法などの塑性接合法で生じる凸凹面のない、機能的なフラット面を有する接合法が板鍛造接合法により可能となった。完全なフラット構造体では、95Nの弱い接合力であるが、小さなフランジを有する板鍛造接合では、2kNを超える接合強度が実現できた。この板鍛造接合法は、重ね接合法であり、二枚の板強度差が大きいほど有効な接合法であり、従来の塑性接合法と大きく異なる。

研究成果の概要(英文)：A joining method having a functional flat surface without concavo-convex surface caused by a plastic joining method such as a self piercing rivet method or a mechanical clinching method was made possible by the plate forging joining method. With a perfectly flat structure, weak bonding strength of 95 N was achieved, but bonding strength exceeding 2 kN could be achieved with plate forging joining with small flanges. This plate forging joining method is a lap joining method, the larger the difference in strength between the two sheets is, the more effective joining method is, which is greatly different from the conventional plastic joining method.

研究分野：塑性加工

キーワード：塑性接合法 塑性加工 板鍛造

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車業界では地球温暖化防止対策として、CO2 排出量削減を目的とした軽量化構造体の開発が積極的に行われている。特に取り組まれてきたのは、超高張力鋼板とアルミニウム合金板の適用である。しかし、これらの材料は融点の違いから、従来の工法である抵抗スポット溶接が困難である。代替え工法として、入熱のないセルフピアシングリベット (SPR) やメカニカルクリンチングといった塑性接合が検討されているが、前者はリベットによる重量増加、ランニングコストの増大が懸念され、後者は接合時に接合板表面に大きな突起を形成するため、設計に制限を受け、接合面を可視部、摺動面に利用できないという欠点がある。また、両工法ではパンチとダイを用いて板を挟んで接合するため、設計自由度の低下が懸念される。

本研究では、アルミニウム合金板と超高張力鋼板を 1 プロセスで接合板表面がフラットとなる接合法の開発を試みる。また、有限要素法による接合シミュレーションと十字引張試験による接合強度の評価、検討を行う。

またこの工法を用いて CFRP とアルミ合金板の接合を試みる。この板組は SRP と接着のみで接合が行われているが、接合原理、CFRP の割れなど解決すべき課題が多い。今回開発する接合法により、構造体のマルチマテリアル化の促進を大きく前進させる可能性がある。

2. 研究の目的

これまでの塑性接合法による重ね接合では裏面に大きな突起が形成され、実用時に大きな工夫が求められ、塑性接合法の多使用が実現されていない。今回の接合法は裏面をフラット化でき、実用化が大きく期待できる。市場は今回の研究成果を望んでおり、接合のメカニズム、原理、最適化法を解明する。

3. 研究の方法

3-1 超高張力鋼板とアルミ合金板の接合

Fig. 1 に板鍛造接合法の接合過程を示す。下板には下穴を開け、ダイセットにセットする。板押え荷重を负荷させた後、パンチを上板に押し込むことにより上板を下板穴部へ前方押し出し、下板方向に突起を形成する。その後、突起を据込み、フランジを形成することで接合が完了する。上板には変形させることが容易な材料を配置し、下板には変形させることが困難な材料を配置する。しかし、押し出しと据込みの両側 2 プロセスが必要となり、裏面には薄いフランジが形成され、完全なフラット形状が形成できない。そこで Fig. 2 に改良した板鍛造接合法の接合過程を示す。下板にはテーパ穴を開けダイセットにセットする。板押え荷重を负荷させた後、パンチを上板に押し込み、上板をダイに接触させ、穴内に上板

が充填するまでパンチを押し込むことで接合が完了する。材料の配置は前項の工法と同様である。この工法の適用によって、反対側から据込み加工を行う必要がなく、接合板表面を完全フラットとすることが可能だと予測される。

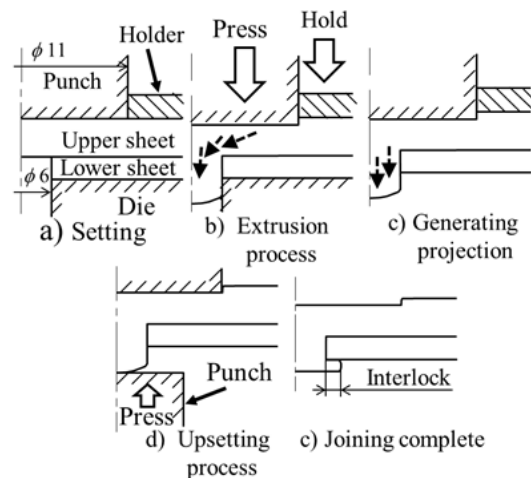


Fig. 1 Two process of sheet forging joining method

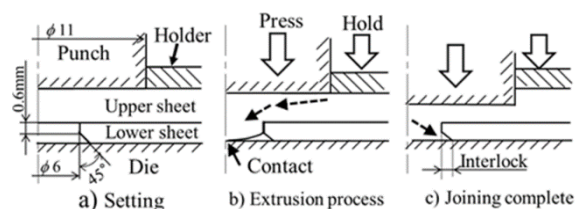


Fig. 2 One process of sheet forging joining method

本実験で使用したダイセットを Fig. 3 に示す。ダイには超硬合金、パンチには SKH51 を使用し、直径は 11mm とした。上板には A5052-H34、下板には超高張力鋼板を配置した。

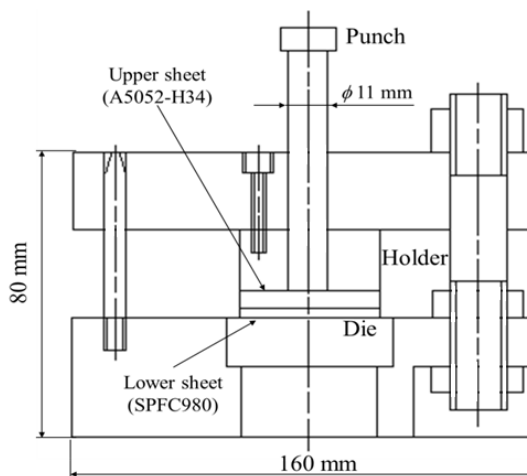


Fig.3 Die set

それぞれの試験片の機械的性質を Table 1 に示す。また、押し出荷重、板押え荷重をそれぞれ 130kN、100kN と 175kN、100kN の 2 パタ

ーンとし、パンチの押出速度を 1mm/min に設定した。更に、パンチの接触面、各板材同士の接触面にプレス工作油を塗布し、接合実験を行った。

Table 1 Mechanical properties

Material	Thickness [mm]	Tensile strength [MPa]	Flow stress [MPa]	Elongation [%]	Hardness [HV]
A5052-H34	2.0	251	$353\epsilon^{0.11}$	10	80
SPFC980	1.2	980			330

3-2 CFRP 板とアルミ合金板の接合

Fig.1 に示す板鍛造接合法の接合過程で接合を行う。下板には直径 $\phi d=6\text{mm}$ のプレス穴を開け、ダイセットにセットする。パンチの押し込みにより上板を下板穴部へ前方押し出しし、下板方向に凸部を形成する。その後、凸部をパンチで据込み、フランジが形成され接合が完了する。本実験では、パンチ径 $\phi D=14\text{mm}$ 、ダイ穴径 $\phi d=6\text{mm}$ のダイセットを用いて、上板に板厚 2mm の A5052-H34、下板に板厚 1mm の CFRP 板を用いる。各板材の機械的性質を Table 2 に示す。

Table 2 Mechanical Properties

Material	Thickness [mm]	Tensile Strength [MPa]	Elongation [%]	Reduction of Area [%]	Hardness [HV]
CFRP	1.0	600			66
A5052-H34	2.0	251	10	67	80

板鍛造接合法における前方押し出しと、据込みを可能にするため専用のダイセットの製作を行った。製作したダイセットは Fig.3 に示すダイセットに、板を拘束するプレートを追加した。板押しえと板の幅方向の変形を防止する拘束プレートを配置し、パンチで押し込み上板のアルミ合金板を前方押し出しする。下部プレートには $\phi 6\text{mm}$ のダイを配置した。

4. 研究成果

4-1 超高張力鋼板とアルミ合金板の接合

Fig. 4 に接合後の試験片の断面写真を示す。(a)は押し荷重 130kN、板押し荷重 100kN で接合したときの断面写真、(b)は押し荷重 175kN、板押し荷重 100kN で接合したときの断面写真である。(a)の荷重条件では穴内に上板が充満しなかった為、インターロックがほとんど得られなかった。(b)の荷重条件では穴内のほとんどに上板を充満させることに成功した。このときに得られたインターロックは、メカニカルクリンチングで得られるインターロックよりも比較的大きい値となった。また押し荷重を増加させるほど上板の最小板厚は減少し、インターロックは増加する傾向にあった。更に、接合板表面は完全フラットとなり、下板の塑性変形量は僅かだった。

有限要素法を用いて接合シミュレーションを行った。解析モデルは計算を簡単とするために軸対称モデルとして作成し、パン

チ、ダイは剛体とした。アルミニウム合金板はヤング率 70GPa、ポアソン比 0.33、の弾塑性体、超高張力鋼板はヤング率 210GPa、ポアソン比 0.3 の弾塑性体として解析を行った。解析後の状態および相当塑性ひずみの分布を Fig. 5 に示す。これらの解析結果はパンチが最下点に到達したときのものである。解析後の状態を接合後の断面と比較すると、実験結果と解析結果が一致していることがわかる。傾向としてインターロック部に近づくにつれて、相当塑性ひずみ量が増加したことから、テーパ部に近づくほど上板の強度が増加していることが推測できる。

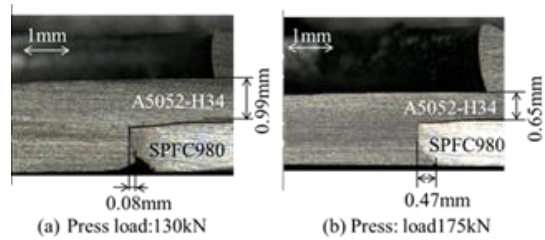


Fig. 4 Cross section of joint

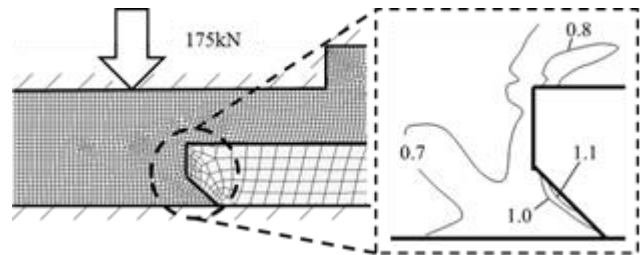


Fig. 5 Deformation result of FEM analysis and distribution of equivalent plastic strain

3-2 十字引張り試験

接合した試験片の接合強度を測定するため、十字引張り試験を行った。接合破壊メカニズムと破断後の試験片を Fig. 6 に示す。破壊形態はインターロックの変形による抜けとなり、接合強度は 92N となった。この値はメカニカルクリンチングと比較した場合、小さな接合強度だといえる。この原因はアルミニウム合金板の破断ではなく、塑性変形によって接合破壊が生じたためだと推察できる。

本研究で考案した板鍛造接合法は接合板表面が完全フラットになる単一プロセス工法であり、使用するダイもフラットダイを使用するため、複雑な加工を施す必要が無い。一方、メカニカルクリンチングや SPR は、接合時に大きな突起を生じ、ダイには溝を作成する必要がある。従って、板鍛造接合法はこれらの工法と比較して、突起が発生せず、ダイ形状が単純であるという点から、打点数を増加することが容易であることが予測される。以上より、多打点での接合が従来の工法より容易であるため、接合強度は 92N で十分だと考え

る。

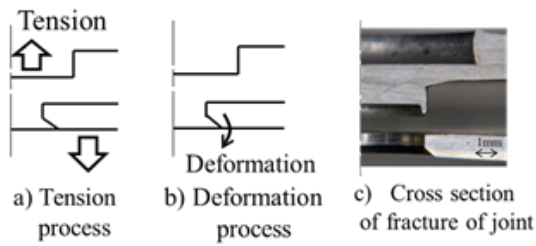
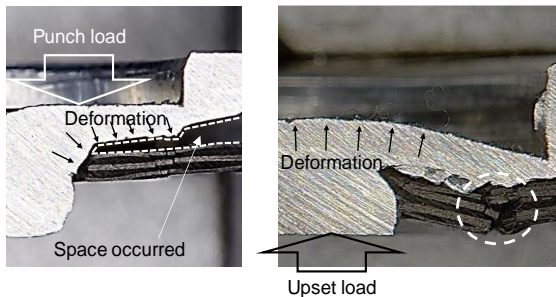


Fig. 6 Mechanism of fracture of joint by plastic deformation and cross section of fracture of joint

3-3 CFRP 板とアルミ合金板の接合

予備実験での接合後試験片断面を Fig.7 に示す。Fig.7(a), (b) は、それぞれ前方押し後および据込み後を示している。加工荷重はそれぞれ 150kN および 20kN である。(a) では CFRP 板とアルミ合金板間の隙間が大きく、(b) では CFRP 板に割れを確認した。パンチによる前方押し加工時に、CFRP 板穴周囲にアルミ合金が流入し、CFRP 板を局部的に変形させ、CFRP 板に割れが生じたと考えられる。これまで板押さえは 3.5MPa で抑えていたが、各板の耐力を考慮し、前方押し時 170MPa、据込み時 140MPa とした。



(a) Forward extrusion (b) Upsetting
Fig.7 Cross section of preliminary experiment

前方押し荷重と突出し量の関係を図 8 に示す。前方押し荷重は 120~140kN の間で 5kN ごとに設定し、アルミ合金の突出し量の変化を検討した。前方押し荷重が 120kN 以下では、凸部の突出し量が小さく、後工程の据込み工程でフランジを形成することができない。また 135kN 以上では CFRP 板穴部に割れが発生する。以上の結果より、CFRP 板に割れがなく、凸部の突出し量が最大となる前方押し荷重は 130kN となる。以降の実験は前方押し荷重 130kN で行う。この時のアルミ合金板の突出し量は 3.6mm である。

据込み荷重とフランジ直径の関係を図 5 に示す。据込み荷重は 25~50kN の間で 5kN ごとに設定し、CFRP 板の割れ有無とフランジ径の検討を行った。据込み荷重 25kN では、CFRP 板に割れがなくフランジが形成され、

良好な接合となった。その後、据込み荷重の増加と共に成形後のフランジ径は増加する。据込み荷重 40kN 時、接合部付近に割れが生じた。フランジ径は据込み荷重 45kN で最大となり、50kN ではフランジ径が減少した。据込み荷重が 40kN を超えるとアルミ合金材の $\phi 6\text{mm}$ 部分が膨径し、板厚方向にせり出し、その結果 CFRP 板に割れが生じると考えられる。以上の結果より、押し込み荷重 130kN、据込み荷重 35kN の接合条件を得た。

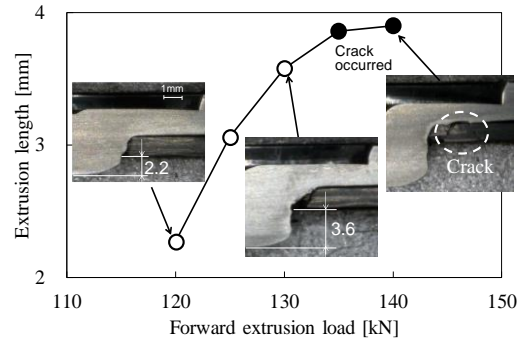


Fig.7 Relationship between extrusion length and load

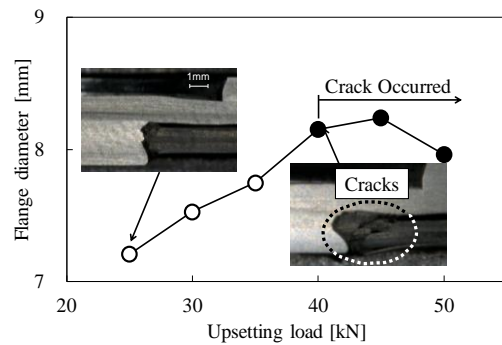


Fig.8 Relationship between flange diameter and upsetting load

据込み加工によりフランジ径は増大するが、フランジ板厚は減少する。せん断引張強度において、薄いフランジ部が変形し低荷重域で破壊する可能性がある。そこで、据込み荷重とフランジ板厚の検討を行った。Fig.9 にフランジ板厚の変化を示す。据込み荷重 40kN では、CFRP 板に割れが生じ、据込みによる変形が増加しにくくなる。その結果、フランジ板厚の変化が少ない。しかしながら、据込み荷重の増加は、フランジ板厚の減少となる。

3-4 せん断試験

各条件で接合した試験片の強度を測定するため、せん断試験を行った。全ての接合条件において、試験片の破壊形態は CFRP 板の破壊によるフランジの抜けとなった。Fig.10 に各接合条件におけるせん断引張強度を示す。据込み荷重 40kN 以上の、CFRP 板に割れが生じた試験片は、良好な接合他と比較し、せん断引張荷重が低下した。CFRP 板の割れによりフランジが抜け

易くなり、せん断強度が低下したと考えられる。Fig.6 に示したフランジ板厚の減少はせん断引張試験では影響がないと考えられる。前方押し荷重 130kN、据込み荷重 35kN の接合条件によるせん断引張強度の最大値は 2.4kN となった。

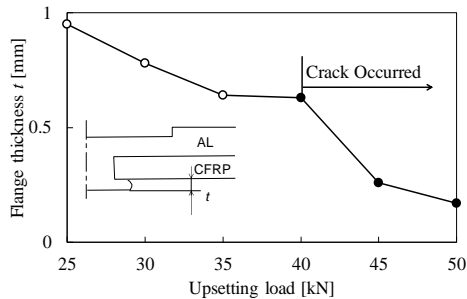


Fig.9 Relationship between flange thickness and upsetting load

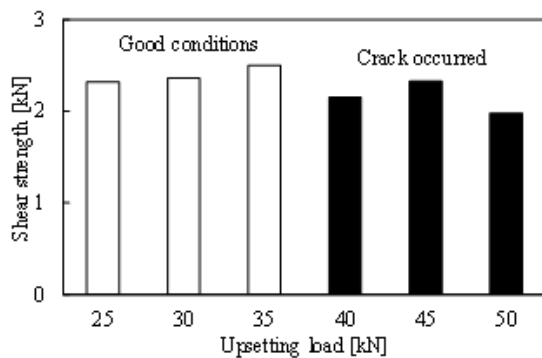


Fig.10 Joint Strength measured from Tension-Shear Test

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)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 2 件)

加藤亨, 林寛文, 山口真太郎, 福岡あかね: CFRP 板とアルミ合金板の板鍛造接合の開発, 日本機械学会北信越支部第 46 回研究発表講演会, 2017. 3. 8, 金沢大学.

加藤亨, 北村春樹: 超高張力鋼板とアルミニウム合金板の板鍛造接合法の開発, 日本機械学会北信越支部第 47 回研究発表講演会, 2018. 3. 2, 福井工業大学.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔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

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: