塑性加工を応用した新接合法

技術のプラザ

編集協力＝あいち産業科学技術総合センター

接合技術は縁の下の力持ち
CAE活用したモノづくり

近年、環境問題などの課題を解決するために省エネルギー化が求められ、特に自動車等の輸送機器において燃費向上、CO_2排出量削減を目的として車体軽量化のニーズが高まっている。そのため、アルミニウム合金に代表される軽合金の需要が年々増しており、鉄鋼材料に比べて溶接性に劣るアルミニウム合金を効率的に接合する技術も同時に必要となっている。本稿では、従来から利用されている溶接などの接合技術や、次世代のアルミニウム合金接合技術として注目されている塑性加工を応用した新たな接合技術について紹介する。

接合技術の現状

金属は現代社会に必要不可欠な資源であり、非常に重要な構造材料である。一般的に構造物は複数の部材で構成されることから、これらを接合する技術は非常に重要であり、これまでに多くの接合法が確立されている。その代表例が、母材を部分的に融かして一体化する「溶接」である。

溶接は青銅器時代から利用されている古い技術であるが、現在でも建築物や自動車などの身近なものから航空宇宙産業などの最先端分野にも使われ、我々の生活を広く支えている。現在、電気抵抗やアーク放電を利用した溶接が主流であるが、ガスやプラズマ、電子ビーム、レーザーなどで溶接する場合もある。しかし、全ての金属を溶接できるわけではない。鉄鋼の場合では、高い強度を示す炭素量が多い材料ほど溶接は難しくなり、一般的に炭素量が0・3％を超えると溶接時に割れる可能性が出てくる。アルミニウム合金の場合では、高い強度を示すジュラルミン、超ジュラルミン、超々ジュラルミン系（ジュラルミンなど）の材料の溶接が難しく、溶接時に割れる可能性が高いと言われている。

溶接が困難な材料の問題や、より経済的な接合技術の探索のため、さまざまな接合技術が研究され、実用化されている。例えば、圧力や摩擦、超音波などを利用して、接合部表面をこすり合わせることで、活性な金属の原子面を露出させ、金属原子同士の結合を促す「圧接」や、ろう（接合母材よりも融点の低い合金）を用いて母材を溶融させずにぬれ現象を利用して接合する「ろう接」といった冶金的接合技術が挙げられる。また、ボルトやリベットを用いて機械的に締結する接合技術もよく利用されている。しかし、どの接合技術もそれぞれ長所、短所が存在し、最適な接合技術を求めていずれの分野でも研究が盛んに行われている。

このような中で、名古屋大学名誉教授石川孝司氏によって新たな接合技術（スポット鍛造接合技術）が開発された。これはプレス機を用いた金属の塑性変形を応用して接合する技術である。通常、金属は表面に薄い酸化皮膜があり、金属原子面が剥き出しになっていない。しかし、塑性変形によって金属が引き伸ばされた際、酸化皮膜が破れて瞬間的に活性な金属原子面が現れる。この現象を利用し、接合したい二つの金属を重ね合わせて塑性変形させることにより、それぞれに生じる金属原子面を同時に密着させて金属原子同士の結合を促すものである。この技術は圧接に比べて設備が安価かつ高い生産性があり、容易にさまざまな金属を接合できる特徴がある。

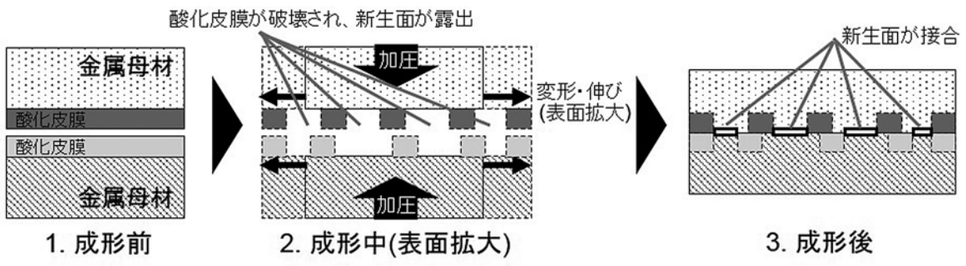


図1　スポット鍛造接合技術のメカニズム

産業技術センターにおける取り組み

産業技術センターでは、平成31年度から令和2年度にかけて「塑性加工を応用したアルミ固相接合技術の開発」として、このスポット鍛造接合技術に注目した研究を行った。

本研究では、CAE（Computer Aided Engineering）を活用しつつ接合試験を行った。CAEにより試験では得ることができないさまざまな情報（接合界面付近の熱や圧力、接合過程の塑性流動など）を類推することで、接合するための最適な条件を効率的に見つけることができた。見出した接合条件はサーボプレスを用いて再現した。サーボプレスとは、サーボモータを駆動源としたプレス機であり、複雑形状の部品も高精度に成形することができることから、付加価値の高い製品作りに活用されている。通常のプレス機ではスピードを遅くするといった単純な変化しかできないが、サーボプレスを用いれば加圧時のみ遅くすることや、途中で一時停止すること、繰り返し多段階的に加圧することも可能であり、プレスモーションや成形スピードなどを自在に制御することができる。このサーボプレスの特性を利用し、塑性加工時に発生する熱や圧力を効果的に制御するプレスモーションを設定することで、通常のプレス機を用いる場合よりも高い接合力を得ることに成功した。現在、専門誌や展示会で技術紹介を行っており、実製品への展開を目指して企業との連携を図っている。

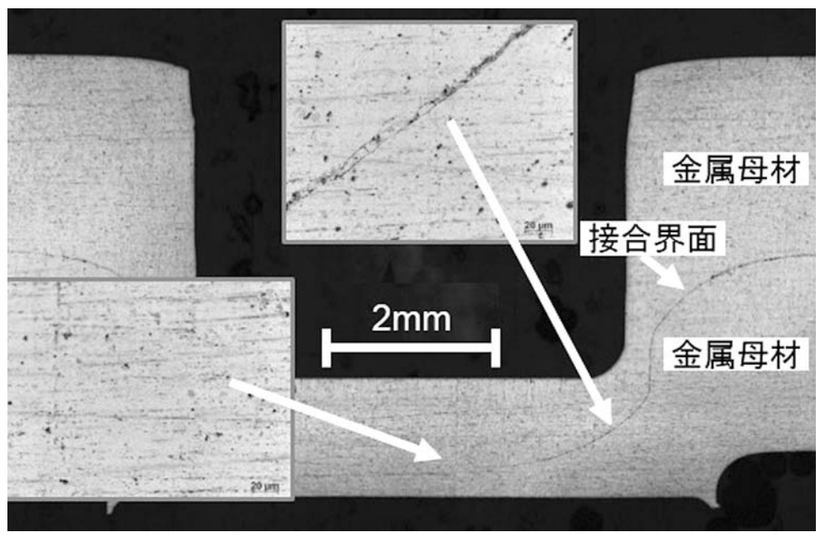


図2　接合部断面

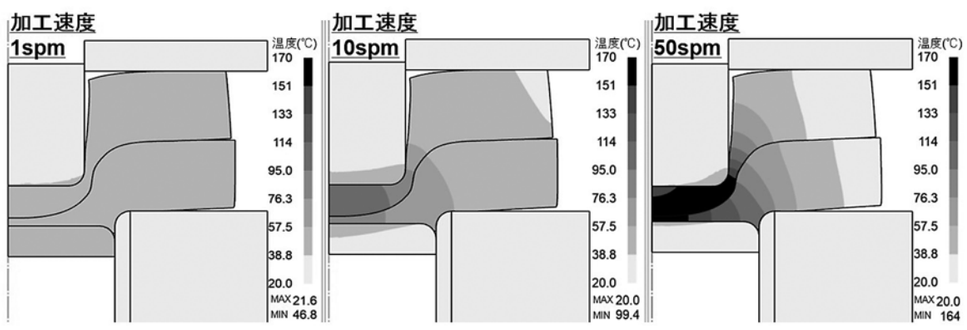


図3　CAEによる解析例

Q&A

Q　鉄とアルミは溶接できる？

A　異種金属接合とは、異なる金属材料を接合することを指す。接合する材料の組み合わせとしては、鉄鋼とアルミニウム合金、アルミニウム合金と非鉄金属など様々存在するが、中でも鉄鋼とアルミニウム合金の接合ニーズは高い。特に輸送機器業界では、高強度化と軽量化という相反する課題を解決する必要があり、異種金属接合の需要が高まっている。

鉄とアルミ、異種金属接合について
ボルト接合が主流
FSWなど研究進む

あいち産業科学技術総合センターでは、接合技術以外にも各種材料や製品の機械的試験、金属組織観察、破面解析など金属の加工技術に関わる種々の相談に対応しているので、是非活用していただきたい。

材料を接合する手法として、部分的に融かして接合する溶接がよく知られている。しかし、異種金属接合の場合では、融点に差があるため（鉄：1538℃／アルミニウム：660℃）、同種間の溶接に比べて難易度が高くなる。また、化学反応によって脆い合金を生成してしまう場合もある。これらのことから鉄とアルミニウム合金を溶接することはできないとされており、現在はボルトなどで機械的に締結する接合手法がとられている。しかし、ボルトなどを利用した機械的な接合で高い信頼性を得るためには、多数の部品や加工が必要であり、結果として製品重量及びコスト増につながる。この問題を解決するため、FSW（摩擦攪拌接合）などさまざまな手法が現在多く研究されている。

この特性をネジ加工に応用したものは転造ネジと呼ばれている。材料を変形させてネジ山を作るこのネジは、大きな金属から削って作る切削ネジよりも高い強度を有している。また転造は切削よりも生産性が高いため、安価に強いネジを作ることができる。

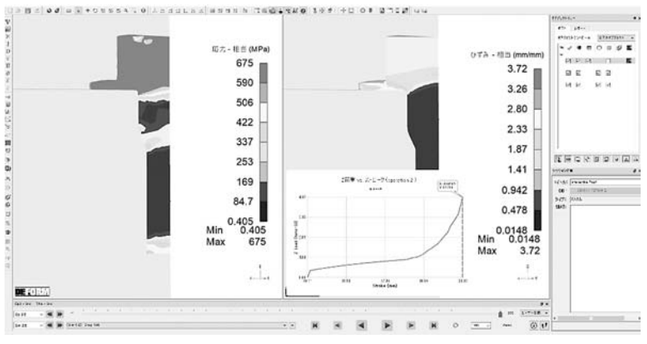
豆辞典

金属の加工硬化
変形させると強くなる

金属の代表的な特徴に延性がある。この特性を有することにより、金属に力を加えると徐々に変形していき、材料を様々な形状に変化させることができる。このような変形が起こった部分は変形を受けていない元の状態よりも強く硬くなる性質が金属にはあり、これを加工硬化という。この加工硬化は一般的に変形の度合いが増すにつれてより顕著に表れる。

設備紹介

金属加工用CAE解析ソフト
バーチャル空間上でモノづくり


金属加工用CAE解析ソフト

IT技術の進化によりモノづくりの現場でもDX（Digital Transformation）が急速に進められ、現在ではPC内のバーチャル空間上で製品を試作シミュレーションすることも可能となっている。CAEは製品の設計や製造、工程設計の事前検討などで活用するシミュレーションツールであり、機械・電気・電子・建築・土木・化学など幅広く使われている。金属加工分野においても様々なツールが開発されており、鍛造やプレス、鋳造など多くの業界で利用されている。

金属加工用CAEの長所として、成形途中の状態も観察することができる点が挙げられる。通常のモノづくりでは成形後の結果しかわからないが、CAE解析を応用すれば成形過程を詳しく知ることができ、不良原因の発見や改善に役立てることが可能である。そのため、モノづくりの高付加価値化や開発プロセスの効率化（納期短縮・コスト低減）、品質確保に大きく貢献している。

あいち産業科学技術総合センターでは、鍛造・熱処理用、プレス成形用、鋳造用の各種金属加工CAE解析ソフトを導入し、中小企業のデジタル技術導入への支援を行っている。

わが社の技術開発

ユーアイ精機
軽量化技術で環境負荷低減
マグネシウム合金で自動車部品開発

水野一路社長

当社は昭和44年に名古屋市守山区で創業、平成22年にはグループ体制を設立してユーアイグループとして事業を行っています。現在は尾張旭市の本社工場に拠点を集約しており、事業も創業から現在まで一貫して自動車関係の試作部品製作を中心に行ってきました。会社名は「あなたと私の会社にしたい」という創業者の思いによって先代の私の父が命名しました。

主な製品としては、自動車関係のプレス試作品製作やプレス金型の製作があります。難加工材のプレス技術を強みとしているため、一般的な鋼板に比べて成型が難しいとされる超高張力鋼板のプレス加工技術についてもノウハウが充実しており、複雑な構造にも高精度に対応可能です。この技術を活かして自動車のシートに使われるレールの部品を試作し、製品化となりました。また、試作や生産用金型の設計・開発だけでなく、メーカーや大学、公設試験研究所などから実験用の金型の依頼も多く受けており、詳細な実験データがとれるよう協力しています。こういった活動が評価され、平成16年度に名古屋市工業技術グランプリ公益財団法人名古屋産業振興公社奨励賞を受賞し、平成31年度には軽金属学会の企業奨励賞も受賞することができました。また、平成27年度に愛知県の優秀技能者「あいちの名工」に当社田中工場長が選ばれました。

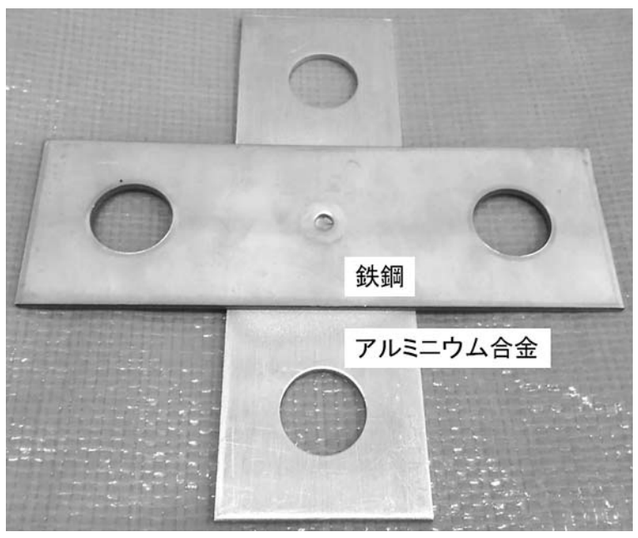
プレス成形品（マグネシウム合金製）

2000年頃に超高張力鋼板のプレス試作加工を取り組み始めた結果、まだ社会では自動車の軽量化がそこまで大きく騒がれていない時期から軽量化技術について関心を持ち始めました。超高張力鋼板を用いればそれだけ薄い材料で壊れにくい製品を作ることができるためです。そして次世代の軽量化素材は何かと考えた時に知ったのが「マグネシウム合金」でした。マグネシウム合金は実用可能な金属の中で最も軽い金属です。同じ重さあたりの強度ではアルミニウム合金にやや劣りますが、軽量部材への展開が大きく期待される金属です。しかし、マグネシウム合金は加工が非常に難しく、室温におけるプレス加工は不可能とされています。

このマグネシウム合金を用いた加工法を2012年から研究をスタートしましたが、当初は苦難の連続でした。加工しやすくするために加熱してプレスする技術を用いて研究を行っていましたが、5℃程度の温度差で成形性が劇的に変わってしまい、条件出しやノウハウの構築が難航しました。当然ですが、季節の影響も大きく、夏と冬では条件が全く異なります。また、事例が極端に少ないことも苦労しました。当時はニーズもまだ少なく、どこも基礎研究の段階のため情報が秘匿されていたためです。

現在はマグネシウム合金自体の進歩もあり、温度や成形速度を適切に管理することで安定的に複雑形状にも加工が可能となりました。これによって自動車向けのマグネシウム合金製ファンの開発に成功し、海外企業のセチャン社とも共同研究を行って150℃以下のプレス加工でマグネシウム合金エンジンカバーを試作しました。

現在はプレス技術を用いた異種金属接合にも注力しており、軽量金属との接合を利用したマルチマテリアル化によって軽量化を目指しています。これからも環境に優しい社会に貢献できるような仕事を続けていきたいと考えています。



異種接合（鉄鋼＋アルミニウム合金）

＜会社概要＞

所在地	愛知県尾張旭市庄中町二丁目13番地12
代表者	代表取締役　水野一路
電話	0561・53・7159
FAX	0561・53・7153
URL：	http://www.yuai-seiki.co.jp/ https://my.matterport.com/show/?m=mpR5xbqpYxG https://www.youtube.com/user/YuuAiSeiki/videos
資本金	1000万円
社員数	12名
創業	1969年
事業内容	自動車業界の試作部品製作・金型製作