

金属構造体の高強度・軽量化に資する 固相抵抗スポット接合法の開発

接合科学研究所

特任准教授 森貞 好昭



<https://researchmap.jp/morisada>

教授 藤井 英俊



<https://researchmap.jp/read0051741>



研究の概要

我々の研究グループは、接合圧力によって接合界面の局部変形を促し、接合温度を任意に制御できる「固相スポット接合法」を開発した。当該接合法を用いることで、種々の鋼を無変態で点接合することが可能となり、母材からの硬度変化がない接合部を得ることができる。即ち、接合部の割れや硬化及び熱影響部での軟化を完全に排除することができ、金属材の種類を問わず、母材の特性をそのまま構造体に活用することができる。加えて、低温で接合できることから、例えば、アルミニウム合金と鋼の異材接合や溶融亜鉛めっき鋼板の接合等にも好適に適用することができる。更に、アルミニウム材を溶かすことなく点接合できることから、高強度な接合部が得られるだけでなく、溶接電流を約40%低減でき、電極寿命は飛躍的に向上する。材料を溶かさないう接合は、近年注目されているギガキャスト材等の鋳造材の接合にも極めて有利な接合技術である。

研究の背景と結果

金属板の点接合には抵抗溶接法の一種である抵抗スポット溶接が広く活用されている。抵抗スポット溶接では、重ね合わせた2枚の金属板を上下から電極で挟み込み、電極から金属板に大電流を流すことで生じるジュール熱によって被接合領域を溶融させ、接合部を形成させる。抵抗スポット溶接は自動車産業を初めとして、様々な金属構造物の製造に不可欠な技術であるが、点接合部は溶融凝固組織となることから一般的に母材（被接合材）と比較して強度及び靱性に乏しく、接合領域の外縁には熱影響部と呼ばれる軟化領域が形成される。これらの特徴は被接合材の強度が低い場合や金属構造体に要求される強度・信頼性が高くない場合には大きな問題とはならないが、近年では鋼板等の高強度化が急速に進められているところ、溶接部の機械的性質の低下は深刻な問題となっている。また、車体の軽量化を目的として使用量が増加しているアルミニウム材は電気抵抗率が低く、熱伝導率が高いことから、抵抗スポット溶接には非常に大きい電流が必要であることに加え、溶融したアルミニウムとの接触による電極の低寿命化も問題となっている。

これに対し、接合界面近傍の材料を塑性変形させ表面の酸化被膜や不純物層をバリとして外部に排出し、新生面同士を当接させることで接合を達成する固相抵抗スポット接合法を開発した。具体的には、円筒状の銅電極の内部に加圧棒を備えた二重電極を用い、被接合材の上下に配置した加圧棒と銅電極で被接合領域を加圧した後（Step 1）、銅電極にて電流を流し接合界面近傍を加熱する（Step 2）。昇温すると被接合材は軟化し、加圧されている領域の材料強度が印加圧力を下回ると変形が起こる（Step 3）。この変形により、被接合領域表面の酸化被膜層が微細に分断されると共に外部に排出され、接合界面が形成される（Step 4）。固相抵抗スポット接合法によって高張力鋼板、各種亜鉛めっき鋼板及びアルミニウム合金板を高強度に接合できることが実証されており、鋼板とアルミニウム合金板の異材接合においても、引張せん断試験や十字引張試験において母材破断する良好な接合部が得られている。

研究の意義と将来展望

固相抵抗スポット接合法を用いることで、既存の金属材の実力を十分に活用できるだけでなく、接合性や接合部の特性を理由とする材料開発の制限を取り除くこともできる。また、接合設備は、接合圧力印加機構以外は従来の抵抗スポット溶接機と同等で、置き換えは容易であり、自動車や鉄道車両等の金属薄板からなる各種構造物への用途拡大が見込まれる。接合部の高強度化および金属構造物のマルチマテリアル化は、軽量化や信頼性の向上に大きく寄与するものである。

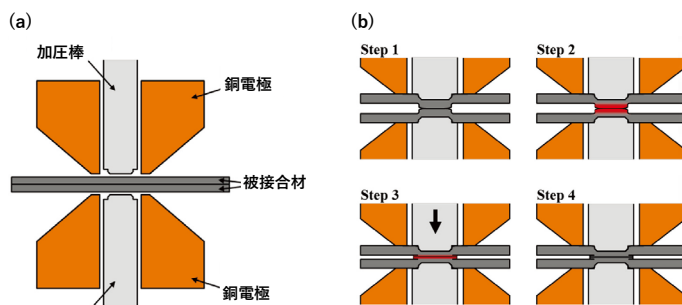


図1 固相抵抗スポット接合に用いる二重電極 (a) と接合工程 (b) の模式図

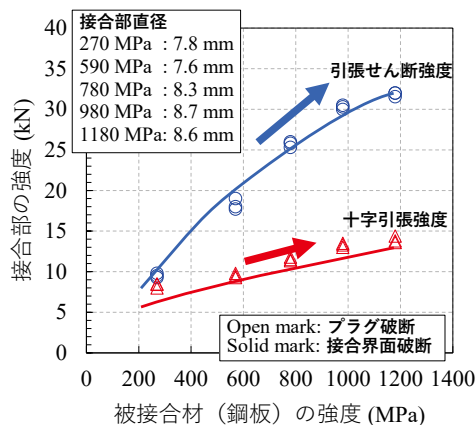


図2 母材強度と接合部強度の関係

従来の抵抗スポット溶接の場合、母材強度が高くなると熱影響部における軟化や溶融凝固部の脆化の影響が大きくなり、接合部強度の上昇が飽和してきますが、固相抵抗スポットを用いることで、接合部強度が増加し続けていることが分かります。

特許	特許第7242112号、EP.21767016.A、US.202117910588.A、CN.202180020823.A、KR.20227030768.A、AU.2021233410.A、CA.3172876.A
論文	Aibara, Takumi; Morisada, Yoshiaki; Fujii, Hidetoshi et al. Cold spot joining of high-strength steel sheets. Journal of Advanced Joining Processes. 2024, 9, 100179. doi: 10.1016/j.jajp.2023.100179 Aibara, Takumi; Morisada, Yoshiaki; Fujii, Hidetoshi et al. Formation mechanism of joint interface in cold spot joining method and its joint properties. ISIJ International. 2025, 65, 676-687. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2024-402 Aibara, Takumi; Morisada, Yoshiaki; Fujii, Hidetoshi et al. Cold spot joining of galvannealed DP 780 MPa steel sheets. ISIJ International. 2025, 65, 1359-1368. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2025-109
参考URL	https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2022/202211/index.html https://youtu.be/IGNx78_iP7E https://www.youtube.com/watch?v=ybW2uMjFE9U
キーワード	固相接合、異材接合、高張力鋼、アルミニウム合金、軽量化