

超音波光探傷装置 MIV / マイクロフォーカスX線CTシステム inspeXio™  
SMX™-225CT FPD HR Plus / 電子線マイクロアナライザ EPMA (EPMA-8050G) / 精密万能試験機 オートグラフ™ AGX™-V

## 摩擦攪拌点接合による異種金属接合部の多角的評価

二股 佑允 橋本 継之助 吉見 聡 垣尾 尚史

### ユーザーベネフィット

- ◆ 超音波光探傷装置により、材料の接合点における欠陥を検出することが可能です。
- ◆ X線CTシステムや電子線マイクロアナライザにより、材料の内部構造や接合点における欠陥を可視化できます。
- ◆ 精密万能試験機により、材料の接合条件による引張強度の違いを算出できます。

### はじめに

温室効果ガスの排出量を削減するために、自動車等の輸送機器を軽量化することは重要な課題です。軽量化の手段として、適材適所で異種材料を使用するマルチマテリアル化が注目されています。マルチマテリアル化の推進には、異種材料の接合技術開発が必要ですが、それに加えて接合部の検査・評価手法の検討も欠かせません。

本稿では、接合条件の異なるアルミニウム板と高張力GA鋼板の接合材料を2種類用意し、超音波光探傷装置による接合部の欠陥検査、X線CTシステムによる三次元構造観察、電子線マイクロアナライザEPMA™による微細断面観察、精密万能試験機による引張せん断試験を実施して、接合部の検査・評価における各試験の有用性を調査しました。

### 測定試料

試料は長さ100 mm × 幅30 mm × 厚さ1 mmのアルミニウム板とGA鋼板の端部同士を長さ方向に30 mm重ね合わせて、直径8 mmの金属ツールをアルミニウム板側から回転させながら圧入させることで、摩擦攪拌点接合を施したものです。摩擦攪拌点接合の概要図を図1に示します。接合条件による違いを比較するために、金属ツールによる加圧時間が短い試料、長い試料をそれぞれ用意しました。作成した試料の写真を図2に示します。

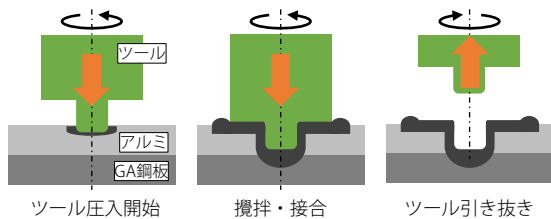


図1 摩擦攪拌点接合の作業工程

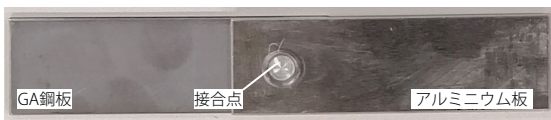


図2 摩擦攪拌点接合を施した試料

### 超音波光探傷装置 (MIV) について

まず超音波光探傷装置 (MIV) により音場画像を取得し、接合箇所およびその周辺における欠陥検査を行いました。超音波光探傷とは、超音波の伝搬状況を撮像することで物体の表面近傍に存在するき裂や剥離などの欠陥を検出し、可視化する同社独自の技術です。超音波光探傷の概要図を図3に示します。検査対象物に振動子を取り付けて超音波振動を付加し、レーザーで照明した対象物表面からの反射光をカメラにより撮像し、画像解析を行うことで表面の

振動状態を音場像として取得します。超音波伝播の時間的、空間的変化から伝播が不連続な箇所を検出することで欠陥部位を特定することができます。本検査は非破壊であり、25秒以下という極めて短い時間で検査することが可能です。従来、打音検査などで確認していた表層付近の欠陥を検査員のスキルに依ることなく、迅速かつ簡便に検知することができます。超音波光探傷装置による測定事例として、図4にアルミ合金のハニカムコアとハニカムスキンを接着したテスト試料を測定した結果を示します。試料には接着不良の箇所を意図的に作っています。図4の音場画像を見ると、接着不良の箇所に音場変状（欠陥の存在を示唆する超音波の不連続箇所）が見られることがわかります。この音場変状をもとに表面付近の欠陥について評価を行います。

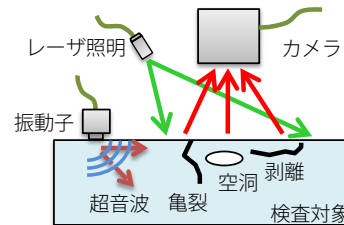


図3 超音波光探傷装置の概要図

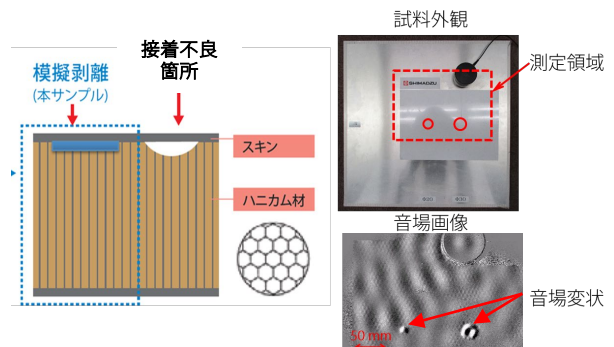


図4 超音波光探傷装置による接着不良の検査事例

### 超音波光探傷装置による検査結果

図5に加圧時間が異なる試料の検査結果を示します。加圧時間が短い試料では接合部に音場変状が見られないのに対し、加圧時間が長い試料では接合部に音場変状が観察されることがわかりました。この結果より、加圧時間が長い試料は接合点にき裂等の欠陥が存在する可能性が示唆されました。また加圧時間が異なる2種類の試料をそれぞれ10個測定し、音場変状がどの程度の割合で見られるかを検証しました。その結果、加圧時間が短い試料は音場変状が全く見られないのに対して、加圧時間が長い試料は10個中3個に音場変状が見受けられました。

一連の結果から、加圧時間が長い条件は接合点において何らかの欠陥が生じやすい可能性が高いと考えられます。このように超音波光探傷の技術により、金属板表面から接合点までの欠陥を迅速に検査することができます。また、検査時間の短さを活かし、製品の不良率の算出に貢献できると考えられます。

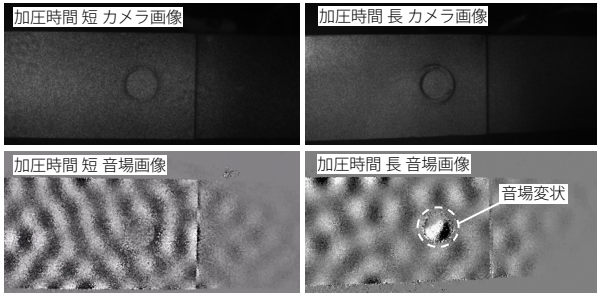


図5 加圧時間が異なる試料のカメラ画像と音場画像

### ■ X線CTシステムによる三次元構造観察

図6は加圧時間が長い試料に関して、マイクロフォーカスX線CTシステム inspeXio SMX-225CT FPD HR Plus で取得した断面画像と三次元表示画像です。超音波光探傷装置で欠陥の存在が示唆された試料においても、材質や形状および欠陥のサイズなどがX線CTシステムの原理にマッチせず、アルミニウム板・GA鋼板の接合部境界に存在するき裂を明瞭に観察することができませんでした。一方で、同じ試料について、接合部近くの隙間や排出金属、接合後のアルミニウム板の断面形状を可視化できています。摩擦攪拌点接合では、高強度を実現するための理想的なアルミ残厚が存在すると言われており、CTを使用することでアルミ残厚を測定できます。表1は加圧時間が異なる試料各10個を測定した結果で、加圧時間が短い試料は加圧時間が長い試料に比べてアルミ残厚が大きいことが分かります。このように、X線CTシステムは超音波光探傷装置と同様に非破壊で観察・測定を行えるため、破壊を伴う試験の前に試料の三次元構造を把握する上で有用です。

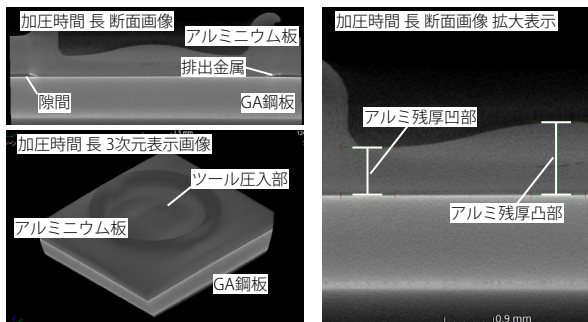


図6 加圧時間が短い試料の断面画像と3次元表示画像

表1 加圧時間が異なる試料のアルミ残厚

(単位:mm)

	加圧時間 短	加圧時間 長
アルミ残厚凸部 平均	1.51	1.31
アルミ残厚凹部 平均	1.02	0.81

### ■ 電子線マイクロアナライザによる断面観察・組成分析

図7は切断研磨処理を行って断面を露出させた試料の接合部を電子線マイクロアナライザEPMA (EPMA-8050G) で観察したCOMPO像 (反射電子組成像) です。加圧時間が異なる試料のいずれにもき裂が見られますが、加圧時間が長い試料により大きなき裂が観察できます。更にEPMAでは、アルミニウム板とGA鋼板の接合界面に金属間化合物 (IMC) 層が見られ、別報 (Application News 01-00294) で紹介しているように、EPMAでは接合部の組成分析も実施可能です。ただし、EPMAでの観察では観察断面を露出させる必要があるため、切断箇所の検討が重要なことがあります。そのため、超音波光探傷装置やX線CTシステムで試料を事前に検査・観察することで、切断箇所の検討をより効率的に実施できます。

部を電子線マイクロアナライザEPMA (EPMA-8050G) で観察したCOMPO像 (反射電子組成像) です。加圧時間が異なる試料のいずれにもき裂が見られますが、加圧時間が長い試料により大きなき裂が観察できます。更にEPMAでは、アルミニウム板とGA鋼板の接合界面に金属間化合物 (IMC) 層が見られ、別報 (Application News 01-00294) で紹介しているように、EPMAでは接合部の組成分析も実施可能です。ただし、EPMAでの観察では観察断面を露出させる必要があるため、切断箇所の検討が重要なことがあります。そのため、超音波光探傷装置やX線CTシステムで試料を事前に検査・観察することで、切断箇所の検討をより効率的に実施できます。

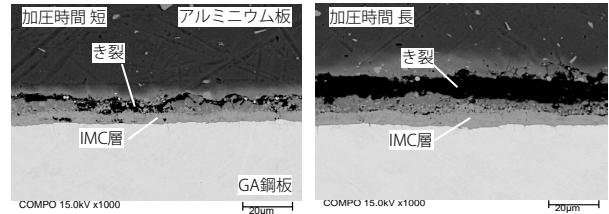


図7 加圧時間が異なる試料で観察されたき裂の画像

### ■ 精密万能試験機による引張せん断試験

加圧時間が異なる試料各5点について、精密万能試験機 (オートグラフ AGX-V) で引張せん断試験を行いました。図8は各試料の引張せん断強度の平均値を示しています。引張せん断強度は、超音波光探傷装置による欠陥検査で音場変状が見られた加圧時間が長い試料が、加圧時間が短い試料に比べて約20%低い強度を示したことから、接合内部に欠陥やき裂が発生して、強度が低下した可能性があります。このように試験機と超音波光探傷装置の相関が得られており、接合不良を判断するスクリーニングチェックにおいて超音波光探傷装置の音場変状観察は有効な検査手段です。

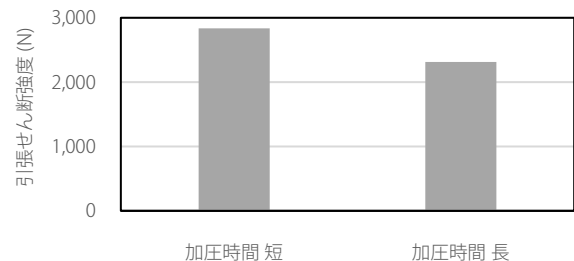


図8 加圧時間が異なる試料の引張せん断強度

### ■ まとめ

摩擦攪拌点接合を施した試料を用いて、各装置の試験手法の有効性を調査しました。超音波光探傷装置、EPMAを用いた検査により、加圧時間が長い試料は接合部においてき裂等の欠陥が生じやすい可能性が示唆されました。試験機でのせん断強度試験は、超音波光探傷装置での音場変状観察結果と相関が得られており、接合不良を判断するスクリーニングチェックにおいて超音波光探傷装置の音場変状観察が有効な検査手段であることがわかりました。以上のように、複数の装置を組み合わせることで、1つの試料を多角的に評価し、内部構造や欠陥と強度の関係性を効果的に調査できます。

inspeXio、SMX、EPMA、オートグラフおよびAGXは、株式会社島津製作所の日本およびその他の国における商標です。

株式会社 島津製作所

01-00402-JP 初版発行：2022年 9月

島津コールセンター ☎ 0120-131691

本文中に記載されている会社名および製品名は、各社の商標および登録商標です。本文中では「TM」、「®」を明記していません。

最新版は、島津製作所>分析計測機器の以下のサイトより閲覧できます。  
https://www.an.shimadzu.co.jp/apl/index.htm

会員情報サービス Shim-Solutions Club にご登録いただけますと、毎月の最新情報をメールでご案内します。新規登録は、https://solutions.shimadzu.co.jp/ よりお願いします。

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。

© Shimadzu Corporation, 2022