

芝浦工業大学 機械工学課程 基幹機械コース 生産加工プロセス研究室 (青木研)

～ 材料の性質に最適化した加工プロセスを開発 ～

指導教員:
青木 孝史朗
所属学生数:
博士:1名
修士:5名
学部:9名

研究室のミッション 金属加工とその周辺技術, 特に加工に伴う材料特性の変化や硬質被膜などの表面処理による材料特性の向上に注目して研究を実施しています。

研究室でのモデル実験などによる解析・分析結果を用い, 実機における製品製造プロセスにおいて, 望まれる材料特性への最適化を実現する加工・製造工程の提案・開発などを行います。

研究成果により実社会に貢献することを活動の目的・方針としています。

主な研究テーマ (大学院生と学部生のチームで各テーマを担当)

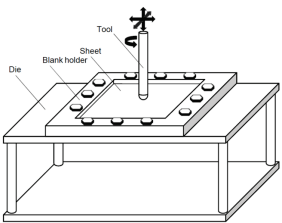
結晶粒微細化を利用した低環境負荷・高強度金属材料の開発

金属材料は結晶粒を微細化するだけで, リサイクル性を維持したまま引張り強さ・硬度が向上します。本研究ではくり返しせん断変形加工(Equal Channel angular pressing: ECAP)による極大ひずみで超微細組織を有する金属材料を開発し, 実用化に必要な材料特性(現在は主に耐食性)を調査しています。



インクリメンタルフォーミングによる成形性に及ぼす金属組織レベルからの解明

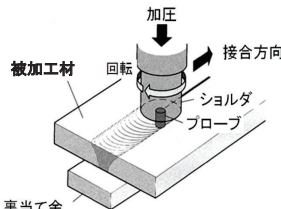
インクリメンタルフォーミングとは, 先端が半球の工具を回転させ, 板材に押し当てながら逐次的に動かすことで目的の形状を得る加工方法です。金型を必要としないため, 少量多品種生産を低コストで実現することができます。さらに成形性が一般的なプレス加工よりも向上します。



本研究室では, 成形時に金属組織がどの様に変化して成形性へ影響するのか調査しています。

結晶粒微細材の摩擦攪拌接合

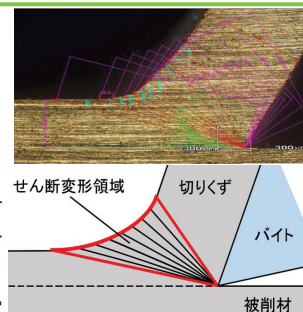
極大ひずみで微細化された材料を溶接する場合, 熱の影響で強度が大きく低下します。そこで素材を溶かさず接合する摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding: FSW)を用い, ECAP材の接合特性を調査しています。



この接合方法は入熱が少ないのが特徴で, 東京メトロや新幹線の車両製造などで実用化されています。

二次元切削を利用した材料特性評価方法の開発

材料の性質を一般的な試験ではなく, 削って切り屑の形状を調べることで特性評価を行う方法(日本特許「材料の変形特性値を測定する方法」第6797599号)を共同開発しました。

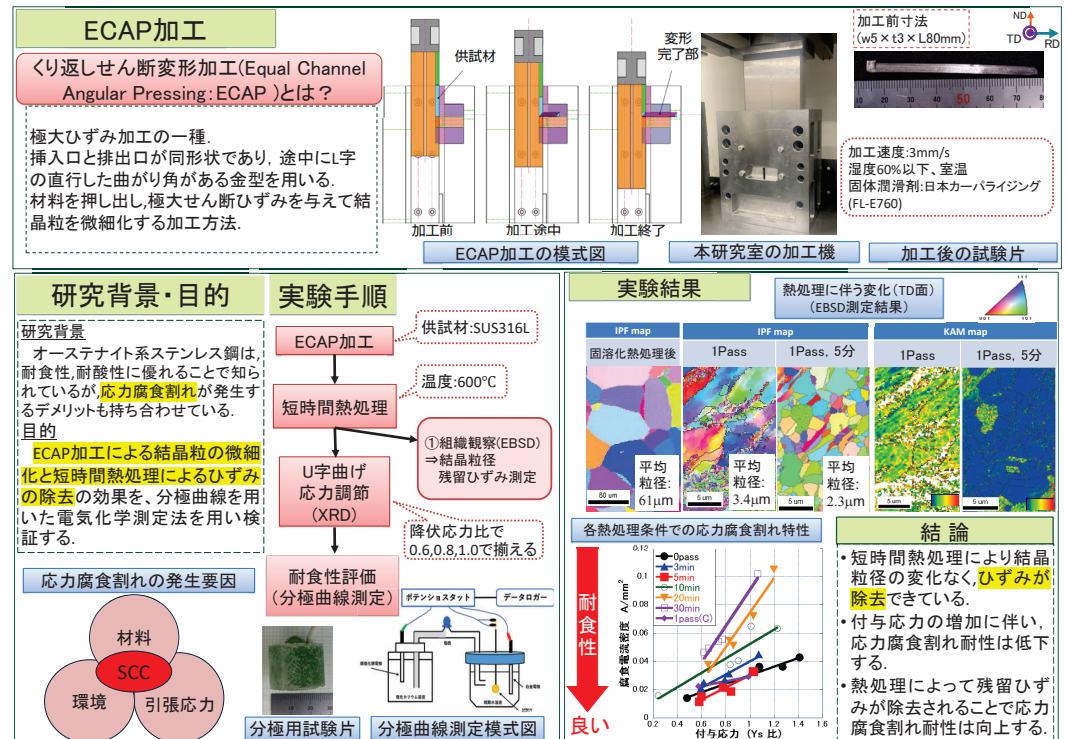


この手法の測定精度・運用の容易化について研究を深化させています。

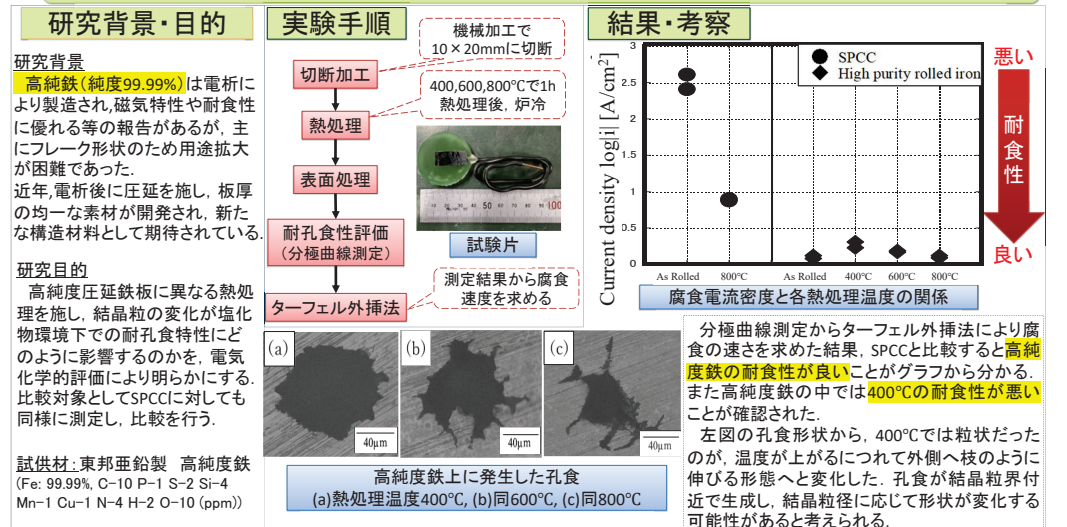


研究テーマ紹介1

オーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れ耐性の評価



高純度鉄圧延鉄板の分極曲線を用いた耐孔食特性の評価





研究テーマ紹介2

摩擦攪拌インクリメンタルフォーミングにおけるSPCCの成形能への摩擦発熱の影響

摩擦攪拌インクリメンタルフォーミングとは？

板材の金型を用いない板金加工技術として、インクリメンタルフォーミング(Incremental Forming, 以下IF)が開発された。
IFは先端が半球形状の棒状工具を押し当て金属薄板を局部的に塑性変形させこれを連続的に行うことで、任意の形状に成形する加工技術である。図1に概要図を示す。
このIF成形中に、無潤滑・高速回転にて高い摩擦熱を発生させ局所的な加熱摩擦熱を積極的に利用する摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング(Friction Stir Incremental Forming, 以下FSIF)がある。
一例では室温で成形困難なMg材に適用し、大幅に成形性向上したという報告もある。

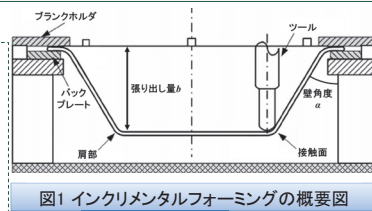


図1 インクリメンタルフォーミングの概要図

研究背景・目的

研究背景
鋼鉄材料では、青熱脆性の発生と成形部・工具表面の酸化や焼き付きから、FSIFの適用例はほとんど報告されていない。
このようにFSIFの摩擦熱と青熱脆性が鉄鋼材料に与える影響は不明な点が多い。
研究目的
SPCCを対象としてFSIFの摩擦熱が成形性へ及ぼす影響について、温度測定と断面観察等の観点から調査、検討を行う。

実験形状

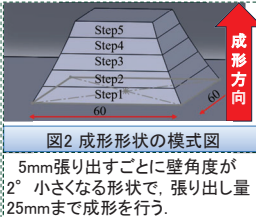
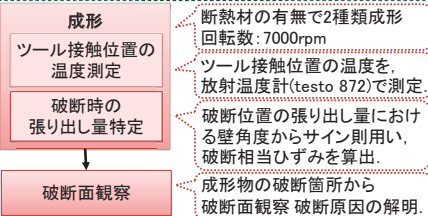


図2 成形形状の模式図

実験手順



実験結果

断熱材使用時・不使用時の成形物や破断面写真、加工温度-時間曲線をそれぞれ下記に示す。

断熱材なし

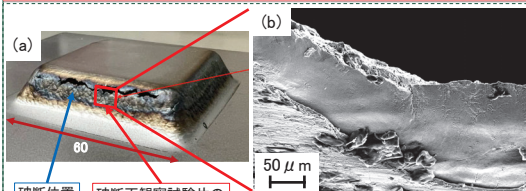
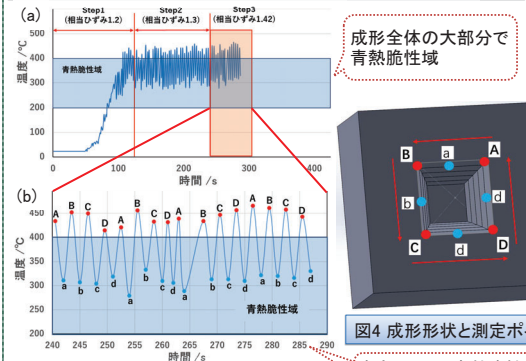


図3 断熱材不使用成形物 (a)外観写真 (b)破断面写真



断熱材あり

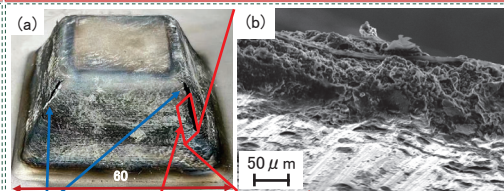
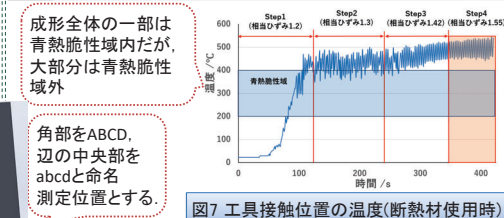


図6 断熱材使用成形物 (a)外観写真 (b)破断面写真



断熱材不使用時はStep3(張り出し量10~15mm)で破断し、相当ひずみは1.42であった。
断熱材使用時にはStep4(張り出し量15~20mm)で破断し、相当ひずみは1.55であった。
成形時の温度によって成形性と破断の方法に差が生じた。これは、鉄鋼材料のFSIFにおいて青熱脆性の影響は大きく、成形中の温度を青熱脆性域外に保つように、成形条件や成形形状を工夫することが重要である。

結論

- FSIFによりSPCCを加工する際、加工形状によって温度が青熱脆性温度域となる場合には、破断に至る可能性が高い。
- 断熱材を使用し、材料の放熱を防げば、青熱脆性域に影響されない、破断面も典型的な延性破断となる。



研究テーマ紹介3

ECAP加工したアルミニウム板材の摩擦攪拌接合

研究背景・目的

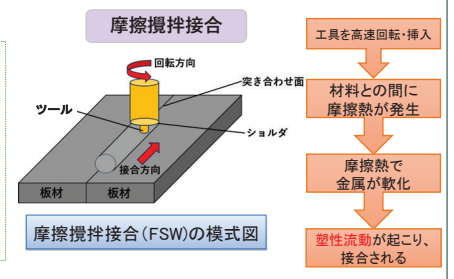
研究背景

繰り返しせん断変形加工 (ECAP) された材料は極大ひずみにより、結晶粒径が微細化される。その微細組織は熱により粗大化してしまうため、通常の溶接等の接合は行えない。
そこで、母材の融点以下で塑性流動を利用した固相接合の1つである摩擦攪拌接合 (FSW) を用いて、ECAP材を接合することができれば、微細組織の粗大化を抑えられると考えた。

研究目的

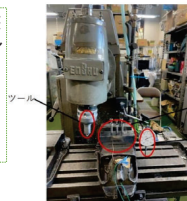
接合を可能にすることで、ECAP材の利用方法の拡大を図る。
数値目標
生材の溶融溶接では継手効率が70%以下に低下する。これと同等以上を目指す。

$$\text{継手効率} [\%] = \frac{\text{ECAP 材継手の引張強さ}}{\text{母材の引張強さ}} \times 100$$



実験方法

汎用フライス盤にFSW用ツールや治具を設置、接合を行う。
接合中に試料温度や入熱量の測定も行う。



FSW用に改良したフライス盤

結果・考察



FSW後の様子であるフライス盤でも良好な接合を行うことができる

ツール	寸法
ショルダ径	12mm
プローブ径	5mm

Table 1 ツール寸法

接合条件	値
ツール回転数	1205rpm
接合速度	120mm/min
前進角	3°

Table 2 接合条件

プローブ径が細いツールを用いて入熱を抑えることで、継手効率は最高で**74.2%**を達成することができた。

今後の展望

ツールの大きさや材質、形状、接合条件等を工夫し、更なる継手効率の向上を目標に研究を続けていきたい。

樹脂と金属の異種材摩擦攪拌点接合

研究背景・目的

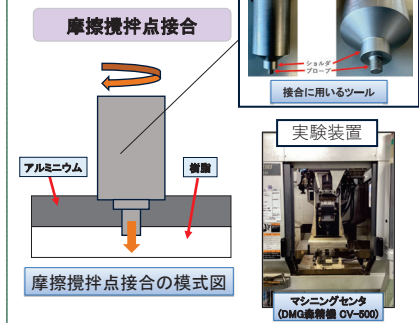
研究背景

近年、製品の軽量化を目的として異種材接合が求められている。樹脂とアルミニウムの接合では機械的締結や接着剤を用いることが多い。
それに対し、摩擦攪拌点接合 (FSSW) を用いることによって、より短時間・高強度の接合が期待できる。

研究目的

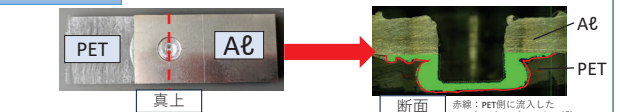
アルミニウムと樹脂材料の接合に対し、FSSWを用いた接合法を提案し、接合法の最適化を試みる。

実験方法



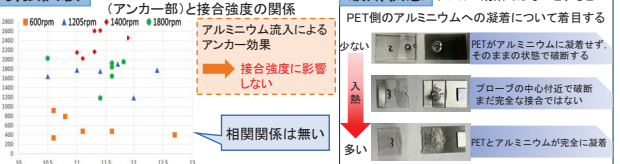
結果・考察

接合状態



PET側に流入したアルミニウムによるアンカー効果と接合強度の関係について調査

引張試験



考察・結論

