（ラジャマンガラ大学（タイ））　研修報告書
計算シミュレーションを用いた二相鋼の最大硬さの予測と評価

先進理工系科学研究科　機械工学プログラム　劉　国梁

1. はじめに

2025 年 7 月 23 日から同年 8 月 26 日の間，タイのラジャマンガラ大学において、共同研究を行った結果につて報告する。

2. 研修/共同研究課題の決定

私がラジャマンガラ大学で協働する教授は、主として溶接技術、特にレーザ溶接プロセスおよび溶接継手の機械的特性評価に焦点を当てています。教授の研究は、有限要素解析の応用、材料の力学的挙動、ならびに溶接の品質と健全性を評価するための非破壊検査手法にも及びます。教授と協議のうえ、今回の交流学習の目標を有限要素法の習得とすることに決定しました。

3. 研修/共同研究スケジュール

7 月 23 日 出国
7 月 24 日~8 月 25 日 研究
8 月 26 日 帰国

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

大学名 ： Rajamangala University of Technology Krung Thep)
所在地 ： Bangkok Thailand
指導教員 ： Prof. Rittichai Phaoniam

5. 研修/共同研究の内容

5.1 研究概要

自動車産業は「カーボンニュートラル」と安全規制の一層の強化という二重の要請を受け、軽量化と構造安全の統合最適化が車体設計の中核的課題となっている。テーラード・ウェルデッド・ブランク（Tailored Welded Blanks, TWB）は、プレス成形の前段で、部位の機能に応じて板厚・強度等級・さらには材質の異なる板材を溶接接合し、「必要な場所に必要な材料を配分する」ことを実現する手法である。この戦略は、ドアインナーパネル、サイドシル、ロングメンバー、フロアなどで量産適用が進み、衝突安全、NVH、耐久性を確保しつつ、車両質量・部品点数・製造コストを大幅に低減するのに寄与している。

TWB の材料選定においては、デュアルフェーズ鋼（DP 鋼）が広く用いられる。DP 鋼は、延性と成形性を担う軟らかいフェライト母相と、高強度・耐へこみ性を与える硬いマルテンサイトからなる二相複合組織を有する。この組織により、レーザ溶接や TIG/MAG など多くの溶接プロセスとの適合性が高く、TWB の大規模適用を支える材料基盤となっている。

有限要素解析（FEA）によるシミュレーション手法は、実際の溶接プロセスを理解し、解析するうえで極めて重要な役割を果たしています。本研究では、有限要素解析を用いた熱- 機械連成シミュレーションを実施し、実験結果と数値解析結果を比較・検証しました。

以上を踏まえ、派遣先のラジャマンガラ大学では、DP590 を対象として TIG 実験を実施し、実験手法と数値シミュレーションを組み合わせて材料の冷却曲線を取得し、その結果の妥当性を検証した。

5.2 実験条件

実験材料にはデュアルフェーズ鋼 DP590 を用い、その化学成分は表 1 に示す。材料の寸法は 60 mm × 40 mm × 1.2 mm である。溶接法は GTAW を採用し，実験装置の外観は図 1 に示す。実験条件は表 2 に示す。材料特性は表 3 に示す。

Table.1 Chemical compositions of used stainless steels (wt %)

Composition（wt%）

C	Si	Mn	P	S	Al	V	B	Fe
0.12	0.40	1.60	0.025	0.010	0.015	0.2	0.005	Bal.

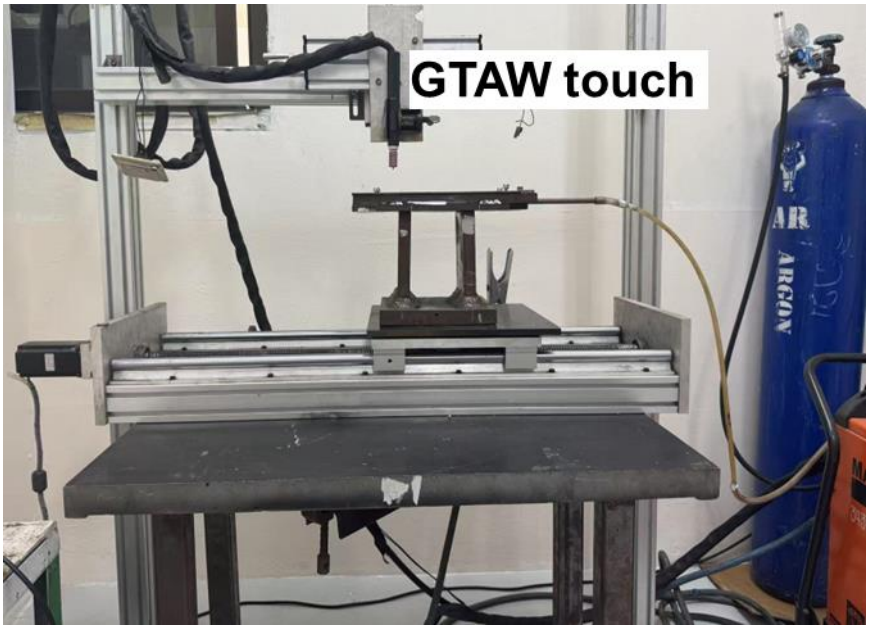


Fig.1 Experiment appearance

Table.2 Experiment conditions

Welding current, A	75
Welding voltage, V	16-18
Welding speed, m/min	0.36
Gas flow rate, L/min	15
Heat input, kJ/mm	0.12

Table.3 Material properties

Material	DP590
Mass density, kg/m^3	7850
Specific heat capacity, J/kg·K	460
Thermal conductivity, W/m·K	50

溶接過程における材料の冷却曲線を取得するため，図 2 に示す位置に熱電対を 3 本配置した。熱電対 1 の x 位置を x 軸の原点，溶接ビード中心を y 軸の原点として座標系を設定した。3 本の熱電対の x 方向間隔は約 5 mm で，各熱電対の座標は表 4 に示す。

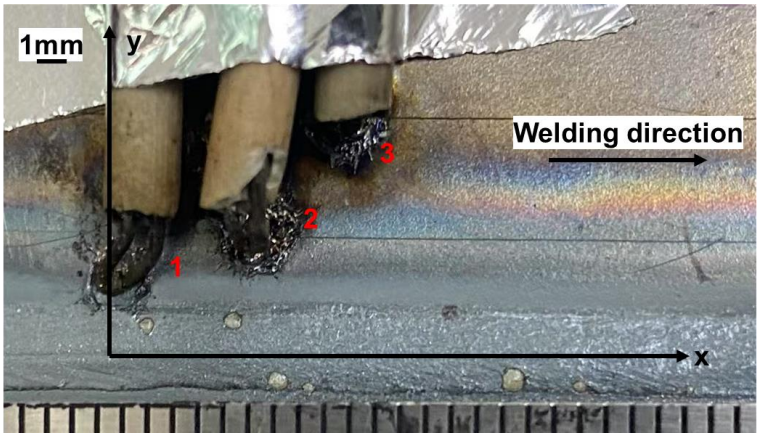


Fig.2 Positions of the thermocouples

Table.4 Thermocouple probe coordinate positions（mm）

Probe	Axis X	Axis Y
1	0	2
2	5.5	3.5
3	10	8

5.3 実験結果

溶接電流 75 A、溶接電圧 18 V、溶接速度 0.36 m/min、熱入力 0.1 kJ/mm の実験条件下で，溶接部の横断面を図 3 に示す。横断面から溶接領域が明瞭に確認でき，測定の結果，溶込み深さは 1.2 mm，幅は 0.18 mm である。



Fig.3 Appearance of cross-section

図 4 は、実験で得られた温度と時間の関係を示す。横軸は時間、縦軸は温度を表す。青色の曲線はプローブ 1、橙色はプローブ 2、灰色はプローブ 3 の測定値に対応する。図より、溶接部からの距離が大きいほどピーク温度が低下することが分かる。
また、800～500 ℃の温度範囲は熱影響部（HAZ）の硬さに直接関係し、最終的な微細組織および力学特性に大きな影響を与える。このため、800 ℃から 500 ℃までの冷却時間を算出したところ、0.64 s であることが分かった。

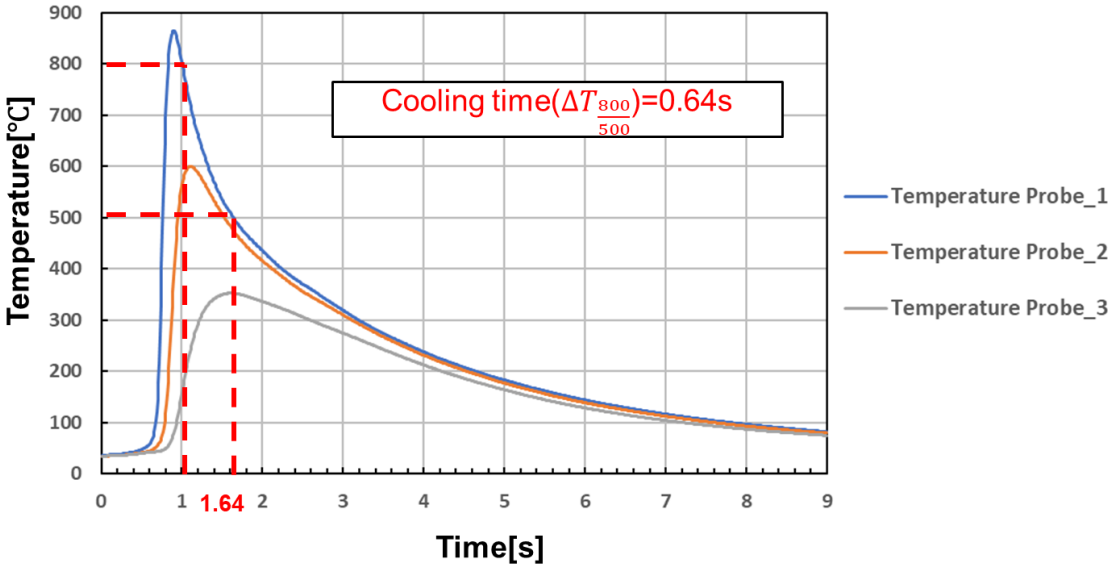


Fig.4 Cooling curves of three probe in experiment

図 5 は温度と時間の関係を示す。横軸は時間、縦軸は温度を表す。数値シミュレーションでは、プローブの配置は実験と同一とした。青色の曲線はプローブ 1、橙色の曲線はプローブ 2、灰色の曲線はプローブ 3 の測定値に対応する。

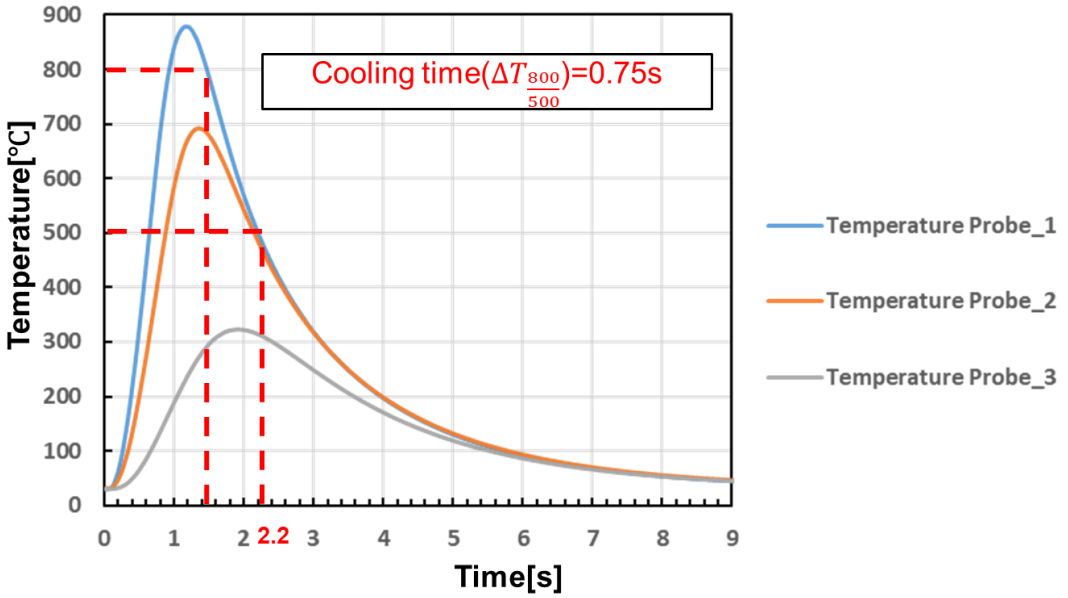


Fig.5 Cooling curves of three probe in simulation

続いて、800 ℃から 500 ℃までの冷却時間を算出した結果、0.75 秒であった。実験結果と有限要素結果を比較すると、実験で得られた冷却曲線の方が勾配が急であり、800 ℃から 500 ℃までの冷却に要する時間が短い。一方、有限要素結果では曲線がより緩やかで、同温度範囲の冷却に要する時間が長い。

この差異の主な要因としては、シミュレーションにおける熱伝導・熱対流・熱放射の設定値が実際の状況と異なり、その結果としてシミュレーション結果と理論（実験）結果との間に差が生じた可能性が挙げられる。

6. まとめ

本研究では，実験結果とシミュレーション結果を比較するため，デュアルフェーズ鋼 DP590 を試験材として選定し，GTAW（TIG）溶接実験を実施して溶接過程における材料の冷却曲線を取得した。DP590 に関する実験結果および計算シミュレーション結果について報告する。

7. 謝辞

バンコクで学び生活したこの 1 か月間、研究の過程で丁寧にご指導くださった Rittichai 先生に心より感謝申し上げます。また、この期間中に私をタイの名所旧跡へ案内してくださり、タイの文化と歴史について理解を深める機会を与えてくださった Somchai 先生にも深く感謝いたします。さらに、研究室の皆さん Yod、Kob、Tae ほかのご配慮にも御礼申し上げます。私はタイ語が話せないため、生活のさまざまな場面で多くの助けを頂き、心から感謝しております。加えて、今回の貴重な機会を与えてくださった広島大学 先進理工科学研究科、山本元道教授に深謝いたします。最後に、海外共同研究プログラムを支援してくださった実行委員の先生方ならびに工学系総合支援室（国際事業担当）の皆様に、心より御礼申し上げます。