

## 研究ノート

## 高張力鋼の抵抗スポット溶接における同時熱処理

横山 博\*<sup>1</sup>、古澤秀雄\*<sup>1</sup>、清水彰子\*<sup>1</sup>、津本宏樹\*<sup>1</sup>、花井敦浩\*<sup>1</sup>、杉本貴紀\*<sup>2</sup>

## Simultaneous Heat-treatment on Resistance Spot Welding for High Tensile Strength Steel

Hiroschi YOKOYAMA\*<sup>1</sup>, Hideo FURUZAWA\*<sup>1</sup>, Akiko SHIMIZU\*<sup>1</sup>, Hiroki TSUMOTO\*<sup>1</sup>, Atsuhiko HANAI\*<sup>1</sup> and Takanori SUGIMOTO\*<sup>2</sup>Industrial Research Center\*<sup>1</sup> Research Support Department\*<sup>2</sup>

高炭素量の高張力鋼は、溶接時の熱履歴により脆化を起こすことが知られている。これを抵抗溶接時の通電条件をプロファイル化することで予熱・後熱処理を利用し、靱性を付与しつつ溶接条件の最適化を行った。予熱により溶接ナゲット径の拡大が認められ、後熱により溶接熱影響部の組織改善が確認された。また、熱処理条件の最適化により引張せん断強さ 7%、十字引張強さ 13%の改善が認められた。

## 1. はじめに

次世代自動車は、エネルギーソースの転換に加え、車体の軽量化と衝突安全性の向上を達成することが要求される中、高張力鋼板が現実的な材料として注目されている。しかし、この鋼板接合に最も用いられる抵抗スポット溶接は、接合部を脆化させる欠点を持つ<sup>1)</sup>。これは、高張力鋼板に含まれる炭素量の高さに起因するもので、溶接部が焼入れ状態となって硬化することによる。この欠点に対しては、溶接後の焼戻し通電加熱により靱性の回復を図る検討がなされている。

本研究は、従来多段の工程となっていたこの靱性回復の処理を、抵抗スポット溶接の 1 工程の熱処理過程として検討することにより、従来の研究成果に立脚しつつ、工程の短縮と効率の向上を図るものである。

## 2. 実験方法

## 2.1 基本溶接条件の設定

供試材料として、高張力鋼板（新日鉄住金社製 WEL-TEN590 t=2.3mm）を用いた。抵抗スポット溶接機は、インバータ式直流溶接機（中央製作所社製 MOMEL SID6 型）を用いた。試験片は 100mm×20mm の短冊形に切出し、短辺端部 25mm を重ね合わせて溶接を行った。溶接条件は、加圧力を 400~600kgf、溶接電流量を 5~10kA、溶接時間を 20~50cycle とし、引張せん断試験の評価に基づき、基本溶接条件を設定した。

## 2.2 予熱・後熱処理条件の検討

設定した基本条件に対し、予熱条件を、加熱電流量 5kA、加熱時間 2~10cycle、保持時間 0~8cycle とし、後熱条

件を、冷却時間 0~4cycle、後熱電流量 5kA、後熱時間 2~12cycle とした。また、後熱に関しては、溶接直後に水冷の処理をしたものを比較検討用試料として調整し、引張せん断試験により、各単一処理での最適条件を検討した。

## 2.3 最適化条件の検討

予熱-溶接-後熱を一連の溶接工程とし、全体として引張せん断強さが最大になるよう調整し、最適な熱処理条件を設定した。

また、この熱処理条件を基本溶接条件と比較するとともに、十字引張試験による機械的特性の評価も実施した。

## 3. 実験結果及び考察

## 3.1 基本溶接条件の設定

引張せん断試験の結果を表 1 に示す。低加圧力、低溶接電流、短溶接時間側で、界面破断が観察され、約 12~25kN の強さを得た。高加圧力、高溶接電流、長溶接時間側で、約 26~29kN の強さを得たが、チリ発生で溶接部が不安定化した。強さの最大値、界面破断・チリ発生条件の排除と溶接条件幅から、加圧力 500kg、溶接電流 9kA、溶接時間 30cycle で、引張せん断強さ 26.5kN が基本溶接条件として得られた。強さ最大値は同条件 40cycle で得られたものの、欠陥発生要因排除の観点から 30cycle を選定した。

## 3.2 予熱・後熱条件の検討

予熱・後熱の熱処理条件での、引張せん断試験の結果を表 2 に示す。予熱条件は溶接電流 5kA、予熱時間 6cycle、冷却時間 0cycle で最大値 29.9kN を得た。また、後熱条

\*1 産業技術センター 金属材料室 \*2 共同研究支援部 計測分析室

表1 引張せん断強さ

加圧力: 400kg						
時間 \ 電流	5kA	6kA	7kA	8kA	9kA	10kA
20cycle						
30cycle					24.4	
40cycle					25.3	
50cycle					27.6	

  

加圧力: 500kg						
時間 \ 電流	5kA	6kA	7kA	8kA	9kA	10kA
20cycle	12.6	15.7	18.0	22.0	25.6	26.8
30cycle	13.1	17.1	20.9	24.5	26.5	26.7
40cycle		18.0	21.7	25.8	28.4	28.1
50cycle				28.0	28.6	

  

加圧力: 600kg						
時間 \ 電流	5kA	6kA	7kA	8kA	9kA	10kA
20cycle			18.4	21.0	24.8	26.3
30cycle			19.9	23.9	27.2	28.2
40cycle			21.1	25.9	26.7	29.6
50cycle						

破断形態:  界面破断  チリ発生 + 界面破断  チリ発生

件は冷却時間 0cycle の後熱電流 5kA、後熱時間 8cycle において最大強さ 28.3kN を得た。

表2 予熱・後熱条件

(縦因子/冷却時間、横因子/処理時間、破断時強さ:kN)

予熱	2cycle	4cycle	6cycle	8cycle	10cycle	12cycle
0cycle	28.0	25.6	29.9	28.1	25.5	
2cycle		27.4	28.3	28.1		
4cycle		28.2	27.9	26.2		
8cycle		26.1	28.7	28.4		

後熱	2cycle	4cycle	6cycle	8cycle	10cycle	12cycle
0cycle	27.8		27.9	28.3	28.5	26.6
2cycle			27.2	27.9	27.9	27.2
4cycle			28.2	27.8	27.7	

凡例:  界面破断  チリ発生 + 界面破断  チリ発生

### 3.3 最適条件の検討

予熱・後熱同時処理による最適条件は、引張せん断試験による評価により表3の結果を得た。チリの発生抑止と引張せん断強さの最大値から後熱時間を 2cycle とした。

表3 熱処理条件による引張せん断強さの比較

処理条件	1	2	3	4	5
予熱時間/cycle	0	6	←	←	←
予熱電流/kA	0	5	←	←	←
溶接時間/cycle	30	←	←	←	←
溶接電流/kA	9	←	←	←	←
後熱時間/cycle	0	2	4	6	8
後熱電流/kA	0	5	←	←	←
破断形態				(チリ発生)	(チリ発生)
引張せん断/kN	27.7	28.3	27.5	25.7	24.8

### 3.4 最適化条件の解析

各熱処理条件での引張せん断強さ、十字引張強さ、ナゲット径を詳細に追試し、その結果を表4に示す。引張せん断強さは、同時熱処理を行うことにより 7%の強さ向上が見られた。

#### 3.4.1 十字引張試験

十字引張試験により溶接部法線方向の引張強さを計測した結果、最適化によりに最大値 16.9kN が得られ 13%の強さ向上が見られた。また、ナゲット径の拡大も観察された。

表4 熱処理条件による比較

	溶接のみ	予熱	後熱	最適化
引張せん断(kN)	26.5	28.2	27.7	28.2
十字引張(kN)	14.9	15.4	15.4	16.9
ナゲット径(mm)	8.9	9.0	8.8	9.0

#### 3.4.2 硬さ試験及び組織試験

溶接熱影響部の硬さ試験及び金属組織試験を行った。



図1 溶接のみ

図2 最適化熱処理

金属組織は、溶接のみの組織がマルテンサイト化していたことに対し(図1)、最適化熱処理後のものは、トランスフェイタイト化した組織が観察された(図2)。

#### 3.4.3 疲労試験

疲労強さは、熱処理の有無にかかわらず 1.6kN で改善は見られなかった。熱影響部直下のコロナボンドが熱処理により軟化して、どこか1点で破壊が始まるため、ここに応力集中を起こすことにより、疲労起点となることが理由として考えられる。

このため、溶接後に水冷処理を行ったところ、1.8kN の応力下で、疲労破壊の繰り返し数は約 20 万回延伸した。疲労強さに関しては、溶接後の急冷処理により改善の効果があるとの指針が得られた。

## 4. 結び

高張力鋼板(WEL-TEN590 t=2.3mm)のスポット溶接に対し予熱条件 5kA/6cycle、後熱条件 5kA/2cycle の短サイクルで最適化同時熱処理をすると、その靱性付与とナゲット径拡大の効果により、溶接強さが、引張せん断強さで 7%、十字引張強さで 13%向上した。

## 文献

- 1) 松山欽一：溶接学会誌, 84(6), 33(2015)