

局部溶接時の効果的なレール冷却工法の検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○山根 寛史
株式会社峰製作所 石部 圭規
株式会社峰製作所 鈴木 理三郎

1. はじめに

レールにレールボンド等の付加部材を部分溶接する場合、レールの容積に比して溶接部で発生する熱量が小さいことから、溶接部周辺のレール母材に急速な加熱と冷却が生じる。レール鋼の急速な加熱と冷却は、レール母材にマルテンサイト変態を生じさせる可能性がある。脆性組織であるマルテンサイトは、レールの疲労強度に影響を与える可能性も懸念される。本稿では銅テルミット溶接によるレールボンドの施工を想定し、ガス炎を用いたレール母材の加熱を行うことにより、レールの急激な冷却を避ける工法を検討したので報告する。

2. 急冷によるレール母材の組織変態

一般的な工法により銅テルミット溶接ボンドを施工した場合、溶接部直下のレール母材にマルテンサイト変態が生じることが知られている(図1)¹⁾。

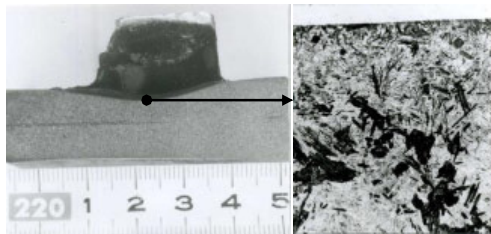


図1 溶接部周辺の金属組織の状態

3. 温度制御の範囲

一般に垂共析鋼であるレールは、変態点(約727℃)以上に加熱された後、臨界冷却温度以上の冷却速度で急に冷却された場合、マルテンサイト変態が生じる²⁾。ボンド溶接の様に母材温度の様な管理が困難な場合にマルテンサイト変態を生じさせない様にするには、等温変態曲線のノーズに相当する550℃付近から緩冷させる必要がある(図2)。そこで、マルテンサイト変態を生じさせないために、保持すべき温度範囲を知るため、予備試験を実施した。

予備試験では、レール腹部を変態点以上に加熱した後、設定温度まで下降した時点でボンド溶接を施

工した(表1)。予備試験の結果、レール温度400℃以上の場合にパーライト組織となることが分かる。一方、700℃以上では、銅の粒界侵入による粒界割れが生じている。したがって、400～600℃の範囲でレール母材の温度を保持することで、ボンド溶接部周辺のレール母材を効果的に緩冷できると言える。

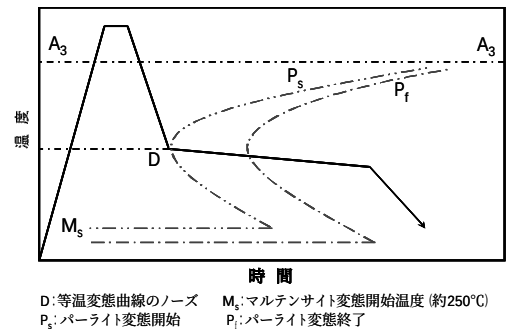


図2 温度制御の概念図

表1 予備試験の結果

No	レール温度(℃)	マルテンサイト変態の有無	記事
1	200	有	
2	300	有	
3	400	無	パーライト組織
4	500	無	パーライト組織
5	700	無	銅の粒界侵入あり
6	900	無	同上

4. 緩冷工法の検討

前章で述べた温度制御を実現させるため、溶接時に別の熱源よりレール母材の加熱を行い、冷却速度の緩和が必要となる。ここでは、①後熱による工法、②予熱による工法、③予熱+再予熱による工法の3種類の工法について加熱方法の検討を行った。検討では、銅テルミット溶接ボンドの施工と同時に、各工法による加熱を行う。施工では、ボンド溶接位置のレール腹部中心に穴を設けて熱電対を溶接し、レール母材の温度曲線を取得した。また、溶接部周辺の金属組織観察及び硬さ測定によりマルテンサイトの生成有無を確認した。

(1) 後熱による工法

後熱による工法(以下、「後熱」という)では、ボ

キーワード レール, マルテンサイト, テルミット溶接, 予熱, 等温変態

連絡先 〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2-4-24 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 TEL 06-6375-2296

ンド溶接後にルツボを取り外し、ボンド溶接側を酸素-プロパン混合炎によって加熱する。加熱は、ボンド溶接側のレール腹部が 500℃に達するまで実施する（約 90 秒間）。温度の確認は温度チョークによるものとし、以下の2工法も同様である。

(2) 予熱による工法

予熱による工法（以下、「予熱」という）では、ボンド溶接位置を中心として幅 100mm、高さ 60mm の範囲に相対するボンド溶接反対側のレール腹部表面から酸素-プロパン混合炎によって加熱する。加熱は、ボンド溶接側が 500℃に達するまで実施する（約 90～120 秒間）。

(3) 予熱+再予熱による工法

予熱+再予熱による工法（以下、「予熱+再予熱」という）では、前項に示した予熱工法に従って予熱を実施した後、ルツボ及びボンド端子を取り付けて溶接準備を行う。その後、ボンド溶接反対側のレール腹部表面を再度加熱する（再予熱）。再予熱の際もボンド溶接側のレール腹部が 500℃に達するまで実施する（約 60～90 秒間）。再予熱後、ボンド溶接を実施する。

(4) 各工法の評価

図3及び表2に各工法によって施工した際のレール母材の温度変化の状況を、図4に溶接部周辺のミクロ組織と硬さ測定結果を示す。

「後熱」では溶接後速やかに加熱を開始したが、加熱開始までに 300℃以下までレール温度が下がったため、マルテンサイト組織が生じ、後熱によって焼戻しマルテンサイト組織となった。一方、「予熱」と「予熱+再予熱」では、400℃までの温度降下時間は同等であるが、「予熱」では一部にスポットマルテンサイト組織の発生が確認された。「予熱+再予熱」では、微細パーライト組織を呈しており、マルテンサイト組織は認められない。

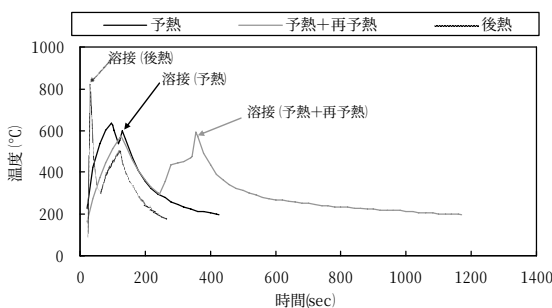


図3 レール母材の温度曲線

表2 温度変化の状況

項目	工法	後熱	予熱	予熱+再予熱
溶接～400℃まで		14.7sec	52.3sec	61.7sec
溶接～200℃まで*		210.9sec	290.3sec	793.6sec
付加加熱時間		60sec	91sec	219sec

*溶接～200℃まで：後熱は加熱時間を含む

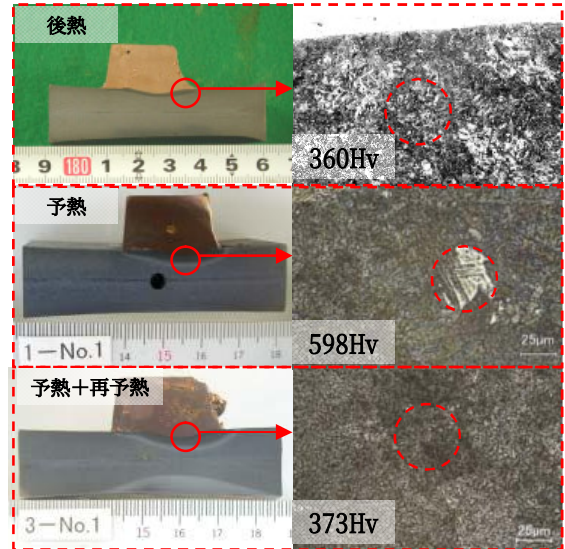


図4 溶接部周辺の組織の状態

5. 疲労試験による耐久性検討

検討の結果、予熱+再予熱によるとマルテンサイト変態が生じないことから、同工法で施工したボンド及びレール母材の曲げ疲労試験を行い、疲労耐久性を確認した。試験は、銅テルミット溶接ボンドの性能評価を行った際の試験条件¹⁾と同一とした。

試験を実施した3体のレールはすべて 200 万回の载荷を終了し、破断やき裂は発生せず、耐久性を満足する結果であったことを確認した。

6. おわりに

銅テルミット溶接ボンドの施工を想定し、レール母材の急冷によるマルテンサイト組織の生成を避ける冷却工法の検討を行った。検討の結果、予熱後にボンド施工の準備を行った後、更に再予熱を行うことでレールの急冷を避けることができることを確認した。

本稿で実施した試験は、公益財団法人鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部から多大なるご支援・ご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 田淵ほか：「レールボンド銅テルミット溶接工法の改良」, 日本鉄道施設協会誌, Vol.44, No2, 2006.
- 2) (社)日本熱処理技術協会編：「熱処理ガイドブック」, 大河出版, 2008.