

レールガス圧接における信頼性向上手法

軌道技術研究部 レール溶接研究室
主任研究員 山本 隆一

1. はじめに

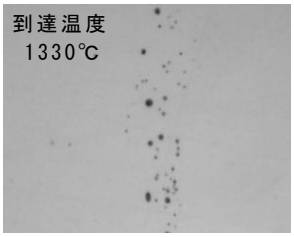
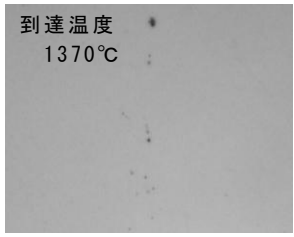

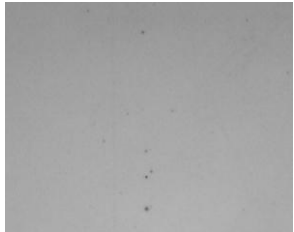
レールガス圧接法は、酸素アセチレン炎でレール突合わせ部を加熱し、所定の圧縮量を得て接合する手法であり、主要なレール溶接法として適用されている。しかしながら、加熱作業が大気中で行われるため、接合端面が酸化して生成する酸化介在物が接合阻害因子となり、実用上問題となる欠陥の発生につながる場合がある。一方、将来的にレール溶接作業に従事する熟練技術者の不足が予測されており、これを併せて考慮すると、酸化介在物の低減により有効なガス圧接条件を見出す必要がある。そこで本研究では、丸棒形状材による基礎試験により、圧接条件が酸化介在物存在量に及ぼす影響を明らかにし、酸化介在物を低減する上で、より有効な燃焼・加圧パターンについて検討した。また、難圧接材であるベイナイトレールを接合対象としたガス圧接試験により、提案した燃焼・加圧パターンの効果を確認した。

2. ガス圧接条件の酸化介在物存在量に及ぼす影響

ガス圧接作業工程では、突合せ部密着後の接合界面に新たな酸化介在物は生成しないため、圧接終了後に残存する酸化介在物量は、突合せ部密着直後の酸化介在物存在量に依存する。そこで、JIS60kg普通レールから切出したφ50mm丸棒形状材のガス圧接試験を実施し、突合せ部密着後の酸化介在物存在量に及ぼす圧接条件の影響を調べた。本試験では、酸素供給量および圧縮量をそれぞれ、32ℓ/min、3.0mmの一定とした条件の下、アセチレン供給量および加圧力をパラメータとして試験体を作製し、各試験体の接合界面状況を光学顕微鏡で観察した。なお、事前検討により、供試材突合せ部に適度な隙間を設置することで、酸化介在物存在量に及ぼす圧接条件の影響がより明確になると判断されたため、突合せ部に0.5mmの隙間を設けて試験体を作製した。

2.1 燃焼条件の影響

ここでは、燃焼条件を示す指標として、ガス容積比(アセチレン供給量/酸素供給量)を用いることとする。現行レールガス圧接作業で適用する弱還元炎と同程度のガス容積比1.06(アセチレン34ℓ/min, 酸素32ℓ/min), およびアセチレンの供給比率をより増大させた

加圧力 20MPa		ガス容積比 (アセチレン供給量/酸素供給量)	
		1.06	1.19
観察位置 (表面からの距離)	5mm	到達温度 1330℃ 	到達温度 1370℃ 
	10mm		

※各写真中央部で縦に並んだ粒状体が酸化介在物 — 10μm

図1 燃焼条件の酸化介在物存在量に及ぼす影響

強還元炎に属するガス容積比1.19(アセチレン38ℓ/min, 酸素32ℓ/min)の2条件を設定し, 加圧力20MPa(単位面積当り)の下, 試験体を作製した。図1に各試験体の接合界面状況を示す。観察位置は, 試験体表面から5mmおよび10mmの部位である。図1では, 両部位とも, ガス容積比1.19で作製した試験体における酸化介在物存在量は, ガス容積比1.06の条件で作製した試験体に比べて少ない。よって, 現行レールガス圧接作業で用いられている弱還元炎に比べて, ガス容積比を高めた強還元炎の適用が酸化介在物低減には, より効果的であるといえる。なお, 強還元炎の適用が効果的であるのは, 還元性のより高い燃焼炎では, 接合端面への大気巻込みを抑制する効果, すなわち接合端面のシールド性が向上するとともに, 酸化介在物の分解に寄与する炭素(C)の接合端面への供給量が増大するためであると考えられる。

一方, ガス容積比1.25(アセチレン40ℓ/min, 酸素32ℓ/min)とした条件で作製したところ, 目標圧縮量3.0mmに到達する以前に部材表面が著しく熔融したため, ガス圧接作業を中止した。また, ガス容積比1.19においても, ガス圧接作業を継続した場合には, 加熱変形による膨らみの形成に伴い部材表面が過剰熔融することがわかった。よって, ガス容積比, すなわち燃焼条件は, 酸化介在物低減のみならず作業性も十分に考慮した上で設定する必要があると考えられる。

2.2 加圧条件の影響

ガス容積比1.19の下, 加圧力を20MPaおよび40MPaとして試験体を作製した。図2に各試験体の接合界面状況を示す。観察位置は, 図1と同様に試験体表面から5mmおよび10mmの部位である。図2より, 加圧力40MPaで作製した試験体の酸化介在物存在量は, 加圧力20MPaで作製した試験体より多いことがわかる。ガス圧接では部材の温度上昇に伴い加熱変形が生じるが, 燃焼条件が同一の場合には, 加圧力が低い程, 突合せ部密着までにより時間を要する。したがって, 強還元炎適用下において, 加圧力を下げ, 密着までの時間を延伸した場合, 接合端面への燃焼炎による炭素供給量が増大し, さらに, 図2に示すように圧接初期過程における到達温度が高まるため, 酸化介在物の分解がより促進されると推察される。

以上より, 強還元炎を適用する場合には, 突合せ部が密着に至るまでの圧接初期過程において, できるだけ低い加圧力で圧接することが酸化介在物の低減に有効であると考えられる。

ガス容積比 1.19		加圧力(単位面積当り)	
		20MPa	40MPa
観察位置 (表面からの距離)	5mm	到達温度 1370℃	到達温度 1220℃
	10mm		

※各写真中央部で縦に並んだ粒状体が酸化介在物 — 10μm

図2 加圧条件の酸化介在物存在量に及ぼす影響

3. 適正な燃焼・加圧パターンの検討

丸棒形状材による基礎試験より, 突合せ部が密着に至る以前の過程において, ガス容積比1.2程度の強還元炎を適用するとともに, できるだけ低い加圧力で圧接し, 圧接初期過程での到達温度をより高めることが酸化介在物低減に有効であることが示唆された。

しかしながら, 上述のように, ガス容積比を1.2程度とした場合, 加熱変形開始以降の膨らみ

の形成に伴い部材表面が過剰溶融することが明らかとなった。一方、ガス圧接作業工程の突合せ部密着後の過程では、新たな酸化介在物は生成しないため、突合せ部密着後に従来の弱還元炎に切り替えても酸化介在物存在量は増大しないと考えられる。よって、酸化介在物低減と作業性確保を両立させる観点から、圧接初期過程において強還元炎を適用し、突合せ部密着以降、ガス容積比を低下させる「燃焼パターン」が望ましいと判断される。

また、低い加圧力で圧接する場合も、目標圧縮量への到達時間(加熱時間)が延伸するため、圧接終盤過程においてレール表面が過剰溶融する可能性が高まる。よって、突合せ部密着以降は加圧力を従来レベルまで上昇させる「加圧パターン」で、速やかに加熱変形を進行させることが望ましい。

以上の検討結果から提案される酸化介在物の低減に有効な燃焼・加圧パターンを従来法と比較して図3に示す。

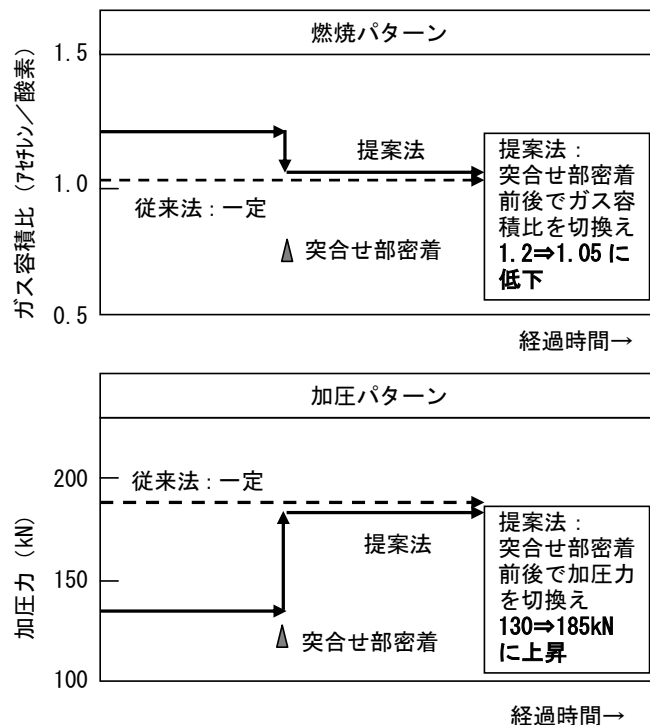


図3 提案した燃焼・加圧パターン

4. 提案した燃焼・加圧パターンのレールガス圧接への適用

4.1 試験方法

提案した燃焼・加圧パターンの有効性を確認するため、難圧接材であるベイナイトレールを接合対象としたガス圧接試験を実施した。表1にベイナイトレールの化学成分の規格値を従来レールの規格値と併せて示す。ベイナイトレールは、普通レールおよび熱処理レールに比べ、酸化介在物の分解に寄与する炭素(C)の含有量が低く、さらにクロム(Cr)およびモリブデン(Mo)が合金元素として添加されている。本試験では、表2に示した従来のHHレールガス圧接条件(従来条件と称す)、および提案した燃焼・加圧パターンに基づいて設定した接合条件(提案条件と称す)で試験体を作製し、磁粉探傷試験により欠陥の発生状況を調査した。レールガス圧接作業では、ガス圧接工程で形成した膨らみを熱間でせん断除去するが、多量の酸化介在物が残存し、接合界面の接合強度が低い場合、接合界面が熱間せん断時に発生する応力に耐えきれず割れ(押抜き割れ)が生じるため、磁粉探傷試験において欠陥磁粉模様が検出される。なお、提案条件では、レール表面の過剰溶融による作業性低下を回避するため、強還元炎の適用を加熱開始後2min以内に制限し、それ以降段階的にガス容積比を下げる燃焼パターンとした。

表1 レールの化学成分(規格値)

	化学成分 (mass%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
ベイナイトレール	0.10- 0.50	0.10- 0.35	0.30- 2.00	0.030 max	0.025 max	3.00 max	1.00 max
普通レール	0.63- 0.75	0.15- 0.30	0.70- 1.10	0.030 max	0.025 max	-	-
熱処理レール (HH340)	0.72- 0.82	0.10- 0.55	0.70- 1.10	0.030 max	0.020 max	0.20 max	-

4.2 磁粉探傷試験結果

従来条件で作製した試験体の磁粉探傷試験の結果、頭部コーナー部および腹部に欠陥磁粉模様が認められた。一方、提案条件で作製した試験体では、腹部において欠陥磁粉模様は検出されなかったが、頭部領域に従来条件による試験体同様、欠陥磁粉模様が認められた。図4に、頭部コーナー部における

表2 レールガス圧接試験での接合条件

		従来*	提案
		条件	条件
ガス 流量 (ℓ/min)	酸素	105	105
	アセチレン	加熱開始～2min	120
		2～4min	109 (一定)
4min～	109		
加圧力(kN)	突合せ部 密着以前	186 (一定)	130
	突合せ部 密着以降		186
圧縮量(mm)		30	30

る欠陥磁粉模様の検出状況を示す。このように、提案条件の適用により腹部の接合状態に改善傾向が認められたが、頭部領域の欠陥磁粉模様を防止するには至らなかった。

*HHレールガス圧接条件

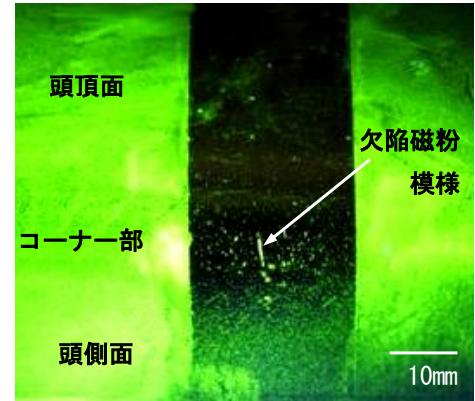


図4 磁粉探傷試験での欠陥磁粉模様 (従来条件による試験体)

4.3 頭部欠陥磁粉模様の発生防止

ベイナイトレールガス圧接試験において提案条件を適用しても頭部領域に欠陥磁粉模様が検出された要因について考察した結果、突合せ部の隙間が関与しているものと推察された。

丸棒形状材による基礎試験では、燃焼炎による「シールド性向上」および「接合端面への炭素供給量増大」効果を検証するため、供試材突合せ部に0.5mmの隙間を設けて試験体を作製した。それに対して、ベイナイトレールガス圧接試験時の端面研削精度は高く、突合せ部に隙間はほとんど存在しない。よって、ベイナイトレールガス圧接時には、燃焼炎の突合せ部への進入が不十分となり、強還元炎適用による「炭素供給量増大効果」が得られていない可能性が考えられた。

したがって、燃焼炎の接合端面への進入程度を高める目的から、欠陥磁粉模様が認められたコーナー部から頭側面にかけての部位にV形隙間(図5)を設置し、表2の提案条件により試験体を作製した。この隙間設置の結果、レール頭部領域を含め、当試験体には欠陥磁粉模様が認められず、レール全断面において実用上問題のない接合状態が達成されていると判断された。

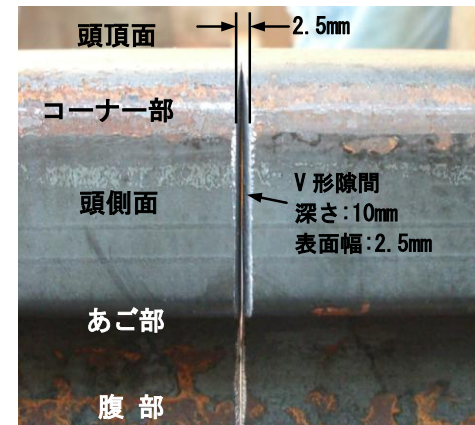


図5 隙間設置状況

5. おわりに

レールガス圧接作業における信頼性向上を図る目的から、継手品質に影響を及ぼす接合界面の酸化介在物をより効果的に低減し得る燃焼・加圧パターンについて検討し、有効と判断される接合条件を提案した。ただし、当提案条件の効果を最大限引き出すためには、突合せ部に燃焼炎の進入経路となる適度な隙間の設置が前提となる。なお現時点では、最適な隙間形状が明確になっておらず、今後の検討課題として挙げられる。