

CO₂排出の少ないガス圧接法で レールをつなぐ

山本 隆一
軌道技術研究部
(レール溶接 主任研究員)

辰巳 光正
同
(同 主任研究員)



やまもと りゅういち たつみ みつまさ

はじめに

ガス圧接法は、レールの接合に広く適用されています(図1)。しかしながら、現行ガス圧接システムにおいて燃料ガスとして用いられているアセチレンガスは、将来的なガス価格の高騰あるいは、製造メーカ側の採算状況如何によっては製造中止になる可能性が危惧されています。また、酸素との燃焼反応に伴い炭酸ガス(CO₂)が発生するため、環境に与える影響が懸念されます。そこで、将来においてもガス圧接法の利用を可能とするため、世の中が水素エネルギー社会へ移行しつつある現状を考慮し、水素ガスを適用したレールガス圧接法の開発に取り組みました。ここでは、当ガス圧接法について、開発経緯を含めて紹介します。

水素ガス燃焼炎の特徴

水素ガスは燃焼速度が非常に速く¹⁾、燃焼炎の取り扱いが難しいという欠点があります。しかしながら、これまでの検討²⁾により、適量のヘキサン(C₆H₁₄)を加えることで燃焼炎が安定して形成されることがわかっています。そこで、燃焼炎を安定形成させるため、ヘキサンの適用を前提としました。作製した水素ガス燃焼炎発生システムの概略図を図2に示します。本システムでは、水素ガスをヘキサン溶液を封入した容器に通すことで、ヘキサンを混成します。

図3に示す写真は、当システムで得られる水素ガス燃焼炎を従来のアセチレンガス燃焼炎と比較したものです。使用した加熱バーナは、従来法で用いるTGP-T1型レールガス圧接機用であり、水素、酸素およびヘキサン溶液の供給量は、φ50mm丸棒鋼の接合試験²⁾での検討結果を基にレール断面積を考慮して設定しました。この写真における燃焼炎の外観形態より、水素ガス燃焼炎の火炎形成領域は、アセチレンガス燃焼炎より狭く、ガス圧接作業において接合端面の酸化を低減する上で重要となる接合部のシールド性

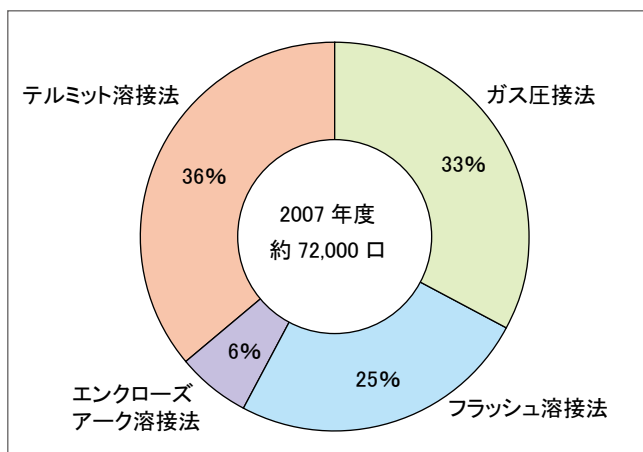


図1 各レール溶接法の適用比率(JRグループ)



図2 水素ガス燃焼炎発生システム

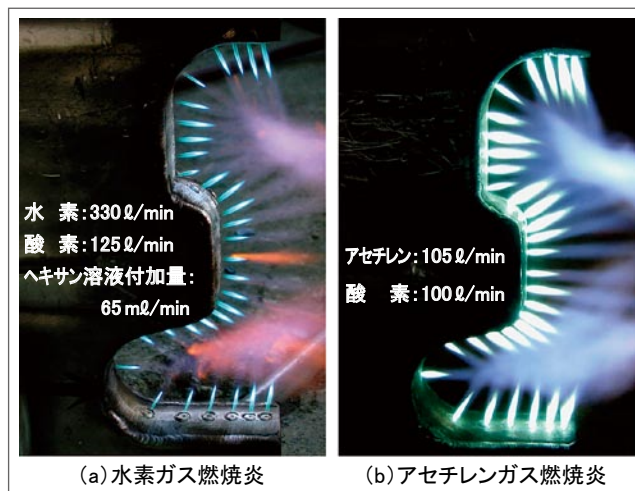


図3 燃焼炎の状況

能³⁾がアセチレンガス燃焼炎に比べて劣ると判断されます。

レールガス圧接施工条件の検討

上述した水素ガス燃焼炎の特徴を念頭に置き、継手作製試験を通して、水素ガスの適用に相応しいガス圧接施工条件について検討しました。図4に試験継手の作製状況を示します。当試験では、JIS60kg普通レールを接合対象とし、複数の燃焼条件を設定しました。なお、使用圧接機および加熱バーナは従来法と同一であり、燃焼条件を除く他の接合条件についても、アセチレンガスを用いる従来法におけるJIS60kg普通レール接合条件と同一です。

当試験では、多数の試験継手を作製しましたが、従来法で問題となる逆火現象が発生せず、ヘキサンを加えた水素ガス燃焼炎は、作業安全上、アセチレンガス燃焼炎に比べて優れていると判断されました。しかしながら、試験継手に対して実施した静的曲げ破断試験の結果、いずれの燃焼条件によって作製した継手も押抜き割れと呼ばれる欠陥が発生したため、JIS60kg普通レールガス圧接部の曲げ破断基準値を下回りました。

ガス圧接部の押抜き割れは、図5に示す発生過程の模式図のように、酸化介在物の残存量が多く低強度の接合界面がふくらみの熱間押抜き時に発生する応力に耐え切れず開口することで形成されます⁴⁾。図6に、レール底部端に押抜き割れが発生した試験継手の底部端近傍の接合界面状況の一例と、従来法によるレールガス圧接部の同部位における接合界面状況を示します。従来法による継手の接合界面に存在する酸化介在物は少量ですが、当試験継手は、接合界面を中心とした幅 $10\mu\text{m}$ 程度の領域に多量の酸化介在物が分散して存在し、接合状態が不良であると判断されます。なお、試験継手において、このように多量の酸化介在物が残存するのは、燃焼炎のシールド範囲が狭く接合部における酸化を低減する能力が不足しているためであると考えられました。よって、加熱バーナの火口構造を改良することにより、燃焼炎のシールド範囲を拡張する必要があると判断しました。

燃焼炎のシールド範囲を拡張する方法として、レール底部領域に対応するバーナ火口をできる限り密に配置する手法とバーナ火口径の拡大によりガス噴出量を増大させる手法とが考えられました。なお、従来法においても、接合部の隙間をある程度許容する目的からバーナ火口を密に配置した改良型加熱バーナが開発され⁵⁾、実施工で適用されています。そこで、当改良型バーナの火口配列をベースに火



図4 試験継手作製状況

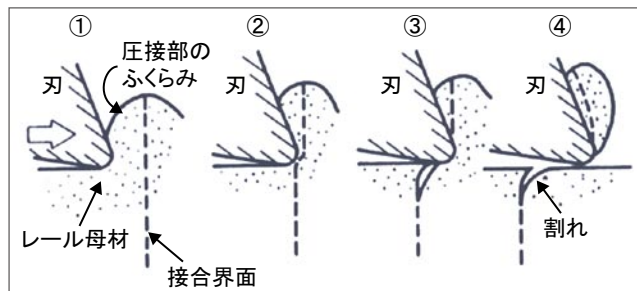


図5 押抜き割れの発生過程

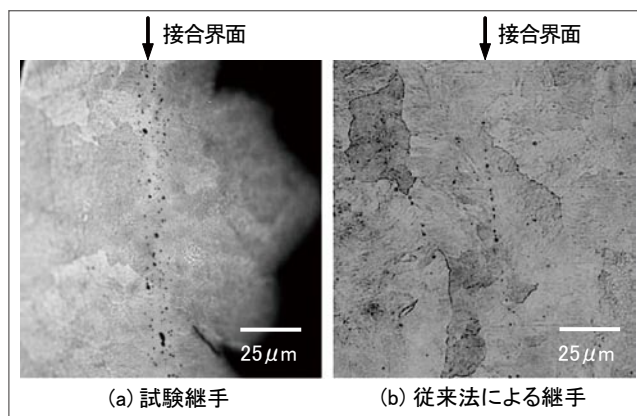


図6 継手の接合界面状況(レール底部端)

口径の適正化に関して検討しました。その結果、後述するように、押抜き割れの存在しない、かつ曲げ破断試験においても基準値を十分に上回る継手を作製することができました。

水素ガスを用いるレールガス圧接法の施工条件

継手作製試験を基にした検討の結果、JIS60kg普通レールの接合施工条件を提案するに至りました。提案した水素

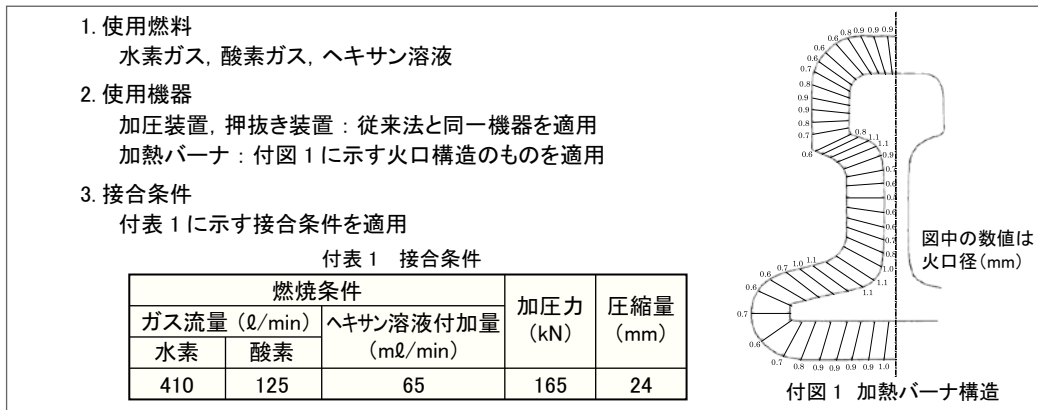


図7 水素ガスを用いるレールガス圧接法の標準仕様 (JIS60kg普通レール)

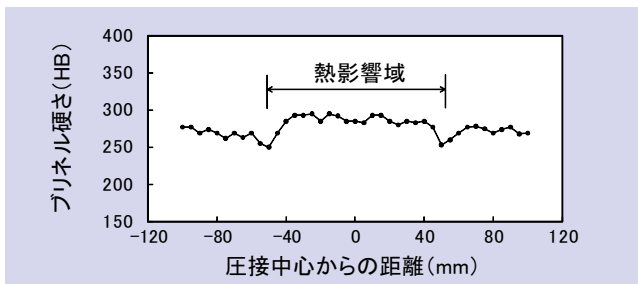


図8 頭頂面硬さ分布

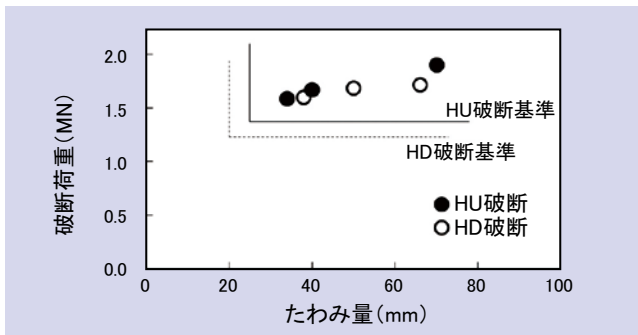


図9 静的曲げ破断試験結果

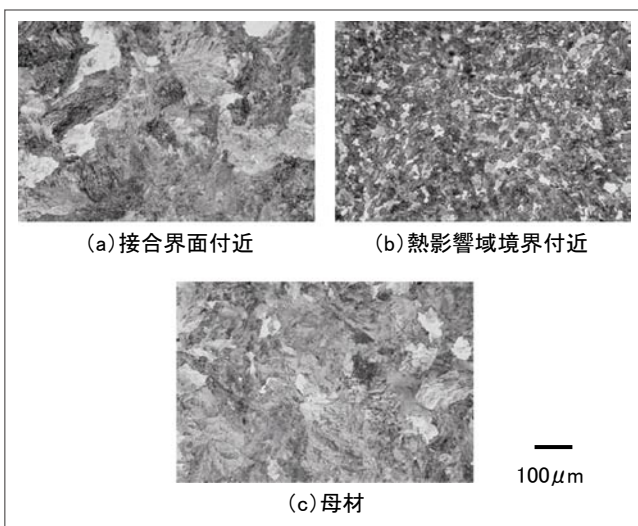


図10 ミクロ組織の一例

ガスを用いるレールガス圧接法の標準仕様を図7に示します。なお、この方法で用いる加熱システム以外の機器については、従来法での使用機器をそのまま転用できます。

試験継手の性能評価試験

提案したレールガス圧接法により作製した継手の実使用性能を評価するため、試験継手に対して各種試験を実施しました。以下、各試験の結果について概説します。

外観検査および磁粉探傷検査

10本の試験継手を対象にレール溶接部非破壊検査要領に基づいた外観検査および磁粉探傷検査を実施しました。その結果、外観上問題となる異常は認められず、また、磁粉探傷検査においても押抜き割れの発生を示す磁粉模様(欠陥)は観察されませんでした。

頭頂面硬さ試験

図8に、試験継手頭頂面中央部のブリネル硬さ分布を示します。この硬さ分布では、接合部近傍の硬さがレール母材よりやや高くなっており、また、熱影響域境界において、幅10mm程度の軟化域が認められます。しかしながら、この傾向は、従来法による継手とほぼ同様であり、列車通過に伴う軟化部の落ち込みが、顕在化することはないと判断されます。

静的曲げ破断試験

試験継手6本に対し、支点間距離1m、中央集中荷重による試験継手の静的曲げ破断試験を実施しました。破断姿勢は、頭部上向(HU)、頭部下向(HD)それぞれ3本ずつとしました。図9に結果を示しますが、全継手の破断荷重、たわみ量ともJIS60kg普通レールガス圧接部の曲げ破断基準値を上回りました。

ミクロ組織試験

図10に、試験継手の代表位置のミクロ組織を示します。観察位置は、頭頂面下5mm位置の接合界面付近、熱影響



図11 曲げ疲労試験状況

域境界付近および熱影響域外側の母材部です。いずれの部位も従来法による継手と同等のマイクロ組織を呈しており、マルテンサイト等の異常組織は認められません。

曲げ疲労試験

試験継手3本に対し、レール底部領域に引張応力の作用する頭部上向姿勢にて、4点曲げ疲労試験を実施しました。曲げ疲労試験状況を図11に、試験結果を表1にそれぞれ示します。

試験継手3本中2本は、全応力振幅 320N/mm^2 の下、破断せずに基準とした繰返し数200万回に達しました。一方、残りの1本は繰返し数134万回で破断しましたが、調べたところ、破壊起点は熱影響域外側のレール母材底面底部であることがわかりました。以上より、試験継手は、従来法によるレールガス圧接部が有する 320N/mm^2 (全応力振幅)の疲労強度レベルを確保していると判断されます。

CO₂発生量の試算

水素ガスの適用により期待される環境負荷低減効果を評価するため、提案したガス圧接法をJIS60kg普通レールの接合に適用した場合のCO₂発生量を試算し、従来法における発生量と比較しました。表2に試算結果を示します。このように、当該法の適用により、従来法に比べてCO₂発生量をおよそ1/3程度と大幅に削減した条件下で、レールの接合が可能となります。しかし、当該法では炭化水素の一種であるヘキサンを用いており、必然的にCO₂が排出されます。したがって、CO₂発生量をより一層削減できるよう、燃焼条件等についてさらに検討を行う必要があると考えています。

おわりに

レールを接合するための主要な手法の一つであるレール

表1 曲げ疲労試験結果

TPNo.	応力 (N/mm ²)			繰返し数 (×10 ⁶)	破断の有無
	最小	最大	全応力振幅		
1	30	350	320	2.00	未破断
2	30	350	320	1.34	母材破断
3	30	350	320	2.00	未破断

表2 CO₂発生量の試算結果
(JIS60kg普通レール接合時)

	当該法	従来法
燃焼条件	水素量：410ℓ/min 酸素量：125ℓ/min ヘキサン溶液量：65ml/min (11.3ℓ/min [*])	アセチレン量：105ℓ/min 酸素量：100ℓ/min
燃焼反応式	$\bullet \text{H}_2 + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\bullet \text{C}_6\text{H}_{14} + 9.5\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$	$\bullet \text{C}_2\text{H}_2 + 2.5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
圧接時間	7 min	7 min
CO ₂ 発生量	$11.3\text{ℓ/min} \times 6 \times 7\text{min} = 474\text{ℓ}$	$105\text{ℓ/min} \times 2 \times 7\text{min} = 1470\text{ℓ}$

※消費されたヘキサン溶液が全て気化したと想定した場合の体積量

ガス圧接技術を将来にわたり継承・維持していくため、環境負荷の低い水素ガスを用いるレールガス圧接法を提案しました。試験継手に対する性能評価試験の結果、提案したガス圧接法により作製した継手は、従来法による継手と比べて遜色のない性能を有しており、実用に供しても問題ないと判断しています。なお、当ガス圧接法で用いる機器は、作業性および操作性の面において改善の余地がありますが、既存レールガス圧接機器の転用・改造を前提としており、実用化に要するコストは必要最低限に収まると考えられます。[RRR]

文献

- 1) 日本化学会編：化学便覧 基礎編Ⅱ，丸善，p.408，1984
- 2) 山本隆一，深田康人，寺下善弘：低CO₂型ガス圧接法に関する基礎的検討，鉄道総研報告，Vol.15，No.10，pp.51-56，2001
- 3) 日本圧接協会編：建設技術者のための圧接工学ハンドブック，p.111，1984
- 4) 大石橋宏次，上山且芳：熱間せん断による品質評価メカニズムの検討，溶接学会論文集，Vol.14，No.2，pp.422-428，1996
- 5) 辰巳光正，深田康人，上山且芳，山本隆一：レールガス圧接における加熱バーナの改良と加圧方式の検討，鉄道総研報告，Vol.13，No.5，pp.27-32，1999