

ミクロ組織制御を活用した重貨物鉄道用 SP3 レール

SP3 Rail for Heavy Haul Railways Utilizing Microstructural Control

1. はじめに

海外の貨物鉄道では、輸送効率の向上のために貨車の長大編成化が進み、1 車両当たりの積載重量が増加している。このような環境下で使用されるレールの使用寿命はかなり短く、高耐摩耗性や高耐疲労損傷性を有したレールの需要が高まっている。

これまで、JFE スチールでは、化学成分およびレールのオンライン熱処理 (On-line Slack Quenching, SQ) によるミクロ組織制御により、耐摩耗性や耐疲労損傷性に優れた高耐久レールを開発してきた¹⁾。本報告では、海外の重貨物鉄道で主に使用されている SP3 (Super Pearlite Type 3) レールの特性について紹介する。

2. 高耐久化のコンセプト

レールは耐摩耗性や耐疲労損傷性の観点から、**図 1** に示すパーライト組織 (軟らかいフェライトと硬いセメンタイトの層状 (ラメラ) 組織) が主流であり、パーライト組織の高強度化²⁾ がこれら特性の向上に有効である。パーライト組織の高強度化の主な手法として、ラメラ間隔微細化³⁾ と炭素量の増加によるセメンタイト量の増加⁴⁾ が知られている。一般に鋼は高強度化により脆くなると考えられるが、当社では、延性を損なうことなく高強度化するため、添加

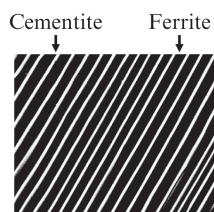


図 1 レール鋼のミクロ組織

Fig. 1 Microstructure of rail steel

表 1 SP3 レールの化学組成 (mass%)

Table 1 Typical chemical composition of SP3 rail

	C	Si	Mn	Cr	Others
SP3	0.81	0.54	Reduced	Increased	V
Conventional	0.81	0.29	1.10	0.19	—

2021 年 2 月 8 日受付

する炭素量を従来レールと同等の 0.8% とし、ラメラ間隔の微細化に寄与する元素である Si や Cr の活用および熱間圧延後のレール熱処理設備における冷却技術の最適化を図っている⁵⁾。

3. SP3 レールの基本性能と使用特性

3.1 化学成分

表 1 に、従来、重貨物鉄道の曲線部に使用されていた熱処理レール (従来レール) と SP3 レールの化学成分の一例を示す。SP3 レールは、従来レールに比べて Si や Cr を添加し、Mn の添加量を適正化⁵⁾ することでラメラ間隔微細化を図っている。

3.2 機械的性質

SP3 レールの引張特性の一例を**表 2** に示す。重貨物鉄道で適用される米国鉄道工学 & 保線協会 (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, AREMA) の規格値を満足している。更に SP3 レールは、従来レールに比べて約 100 MPa の高強度化を達成しているにも関わらず、伸びの値は従来レールと同等以上であり、高延性を有している。

次にレール頭部断面の硬度分布の一例を**図 2** に示す。SP3 レールのブリネル硬さは、従来レールに比べて表面で約 40 ポイント、内部 25.4 mm 深さで約 20 ポイント上昇している。

3.3 溶接継手特性

レールはメンテナンス性などの観点から、溶接によりロングレール化される。**図 3** に SP3 レールのフラッシュバット溶接後の溶接部のマクロ写真を、**図 4** に断面硬度分布を示す。溶接部には割れや欠陥などは認められず、また溶接部の硬度も母材の硬度とほぼ同等であり、良好な溶接継手特性を示している。

表 2 SP3 レールの引張特性

Table 2 Tensile properties of SP3 rail

	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)
SP3	996	1 420	13.6
Conventional	883	1 308	11.6
AREMA (High strength)	≥ 827 (120 ksi)	≥ 1 179 (171 ksi)	≥ 10

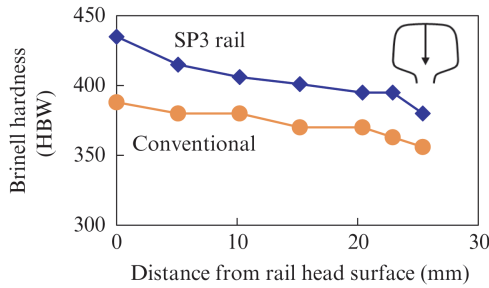


図2 レールの断面硬度分布

Fig. 2 Typical hardness distributions of rails



図3 レールのフラッシュバット溶接部のマクロ写真

Fig. 3 Photograph in flash-butt welds of SP3 rail

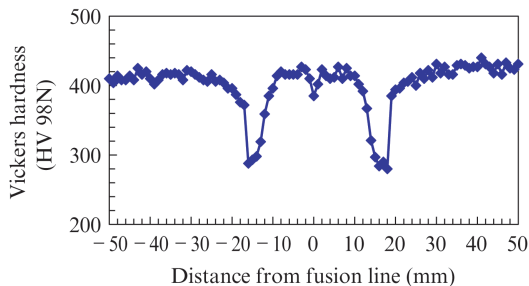


図4 フラッシュバット溶接部の断面硬度分布

Fig. 4 Hardness distribution in flash-butt welds

3.4 実路線における敷設評価

SP3 レールは、これまで海外の重貨物鉄道の曲線部に敷設され、優れた耐摩耗性や耐疲労損傷性を有していることが確認されている。

図5 に海外の重貨物鉄道での敷設結果の一例を示す。SP3 レールの耐摩耗性は、従来レールに比べて約25%向上しており、実使用環境においても十分な高耐久性が確認された。

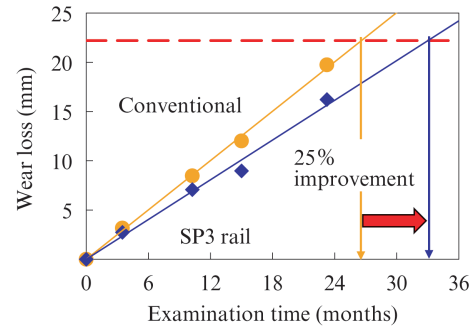


図5 実敷設によるレール耐摩耗性評価

Fig. 5 Evaluation of wear resistance in actual track

また、北米の運輸技術センター (TTCI: Transportation Technology Center, Inc.) で行われた敷設試験においても、SP3 レールは優れた耐摩耗性を示している⁶⁾。

4. おわりに

化学成分や冷却技術の最適化によりレールのマイクロ組織制御を行い、高強度を有する SP3 レールを開発した。

SP3 レールは優れた高耐久性を有することが確認されており、北米、オーストラリア、南米などの重貨物鉄道で採用され、レールの交換頻度低減やメンテナンス軽減に寄与している。今後も更なる輸送効率向上のため、SP3 レールのニーズがますます高まっていくと予想され、重貨物鉄道への適用拡大が期待される。

参考文献

- 1) 横山泰康, 三田尾真司, 酒井潤一, 山本定弘, パーライトレール鋼とベイナイトレール鋼における摩耗および転動疲労挙動. 鉄と鋼. 2000, vol. 86, no. 6, p. 417-424.
- 2) 田代均, 佐藤洋. 共析鋼のパーライトのラメラ間隔および配向度に及ぼす合金元素の影響. 日本金属学会誌. 1991, vol. 55, no. 10, p. 1078-1085.
- 3) Clayton, P.; Danks, D. Effect of interlamellar spacing on the wear resistance of eutectoid steels under rolling-sliding conditions. Wear. 1990, vol. 135, no. 2, p. 369-389.
- 4) 上田正治, 佐藤琢也, 山本剛志, 狩峰健一. 世界の貨物鉄道を支える長寿命レールの開発. ふえらむ. 2012, vol. 17, no. 6, p. 380-385.
- 5) Kimura, T.; Honjo, M.; Mitao, S.; Takemasa, M.; Matsuoka R. Development of SP3 rail with high wear resistance and rolling contact fatigue resistance for heavy haul railways. 10th International Heavy Haul Association Conference. 2013, p. 51-56.
- 6) Szablewski, D.; Glltscher, D.; LoPresti, J.; Kalay S. Effect of heavy axle loads on super premium rail steels and rail joining methods. 10th International Heavy Haul Association Conference. 2013, p. 43-50.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 西日本製鉄所 (福山地区) 鋼材商品技術部 形鋼室
 TEL : 084-945-3166 FAX : 084-945-4061
 ホームページ : <https://www.jfe-steel.co.jp/products/list.html>