

レーザー切断性に優れた厚板プレコート鋼板の開発

Development of Pre-coat Steel Superior in Laser Cutting Performance

塩谷 和彦 SHIOTANI Kazuhiko JFE スチール スチール研究所 耐食・防食研究部 主任研究員(副課長)
鶴田 秀和 TSURUTA Hidekazu JFE スチール スチール研究所 製銑・環境プロセス研究部 主任研究員(副課長)
小森 務 KOMORI Tsutomu JFE スチール スチール研究所 耐食・防食研究部 主任研究員(副部長)

要旨

無機ジンクプライマーを塗装した鋼板のレーザー切断性の改善を目的に、無機ジンクプライマー中における無機成分の影響を検討した。その結果、ジンクプライマー中の Zn 量の低減と、ジンクプライマー中への TiO₂ の添加により、レーザー切断性が顕著に向上することが分かった。また、Zn 量の低減により劣化する一次防錆性は、レーザー切断性を損なわず、耐食性を向上させる Al をジンクプライマー中に添加することで、十分確保できることが分かった。以上の知見より、レーザー切断性と一次防錆性に優れた低 Zn-TiO₂-Al 添加タイプの無機ジンクプライマー塗布鋼板を設計、開発した。

Abstract:

Influence of inorganic components in inorganic zinc primers was examined in order to improve laser cutting performance of zinc primer coated steels. By reducing of quantity of Zn and addition of TiO₂ in the zinc primer, laser cutting performance was remarkably improved. In addition, deterioration of the primary rust prevention performance by reduction of quantity of Zn was improved by adding Al in the zinc primer which improves corrosion resistance without losing laser cutting performance. Applying those findings, new inorganic zinc primer coated steel plates of a low Zn-TiO₂-Al addition type was developed with superior in laser cutting performance and primary rust prevention performance.

1. はじめに

レーザー切断はプラズマ切断、ガス切断などの切断方法と比較すると、(1) 寸法精度が高い¹⁾、(2) ドロス付着が少なく、手入れ工程を省略できる、(3) 自動運転ができるなどの利点から、厚板の切断方法として、その採用が増えている。一方、造船や橋梁建造工程で使用される一次防錆用無機ジンクプライマーを塗装した鋼板の切断では、黒皮鋼板やプラストした状態のままの鋼板に対し、切断可能速度が低下し、切断できる板厚の上限も低下する²⁾といった問題がある。そこで、レーザー切断性を向上させた無機ジンクプライマー塗布鋼板の開発を目的に、レーザー切断性に及ぼす無機ジンクプライマー中における無機成分の影響を検討した。

2. 開発コンセプト

図 1 に黒皮鋼板、プラストした状態のままの鋼板、および従来のジンクプライマー塗布鋼板について、レーザー切断性と一次防錆性の関係を示す。本開発は、従来のジンクプ

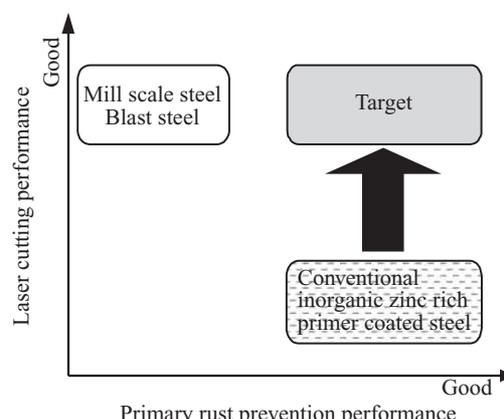


図 1 開発ターゲット

Fig.1 Target of development

ライマー塗布鋼板に対し、一次防錆性を維持しつつ、レーザー切断性を向上することを目標とした。

図2にジंकプライマー塗布鋼板におけるレーザー切断現象の模式図を示す。レーザー切断は、(1)鋼板上部において、レーザー光のエネルギーが直接切断に作用する過程³⁾、(2)鋼板中央部から下部にかけて、熔融金属が熱源で、酸素との二次的酸化燃焼反応により、切断される過程³⁾、(3)熔融金属が切断溝から排出される過程³⁾に分けられると考えられる。

ここで、鋼板表面に、ジंकプライマー塗膜が存在すると、レーザー光のエネルギーによって、ジंकプライマー塗膜からZnガスが発生する。Znガスの発生によって、レーザー光はZnガスへ吸収、あるいは散乱し、切断性が劣化すると考えられる。また、Znガスの発生によって、アシストガスとしての酸素純度が低下する。酸素純度の低下により、酸化燃焼反応が低下し、切断性が劣化する³⁾。

以上のレーザー切断現象を鑑み、図3に開発コンセプトを示す。ジंकプライマー中のZn量を低下することで、Znガスの発生量を抑制し、鋼板のレーザー光の吸収性を向上することを狙い、また、Znガスの発生量の抑制により、アシストガスとしての酸素純度の低下を抑制し、酸化燃焼反応を向上させることを目指した。さらに、ジंकプライマー中へ高レーザー吸収性物質である酸化物^{4~6)}を添加することで、レーザー光の吸収性の向上を目指した。ジंकプライマー中のZn量を低下することによる一次防錆性の劣化は、レーザー切断性を阻害せず、耐食性を向上させる元素をジंकプライマー中に添加することとした。

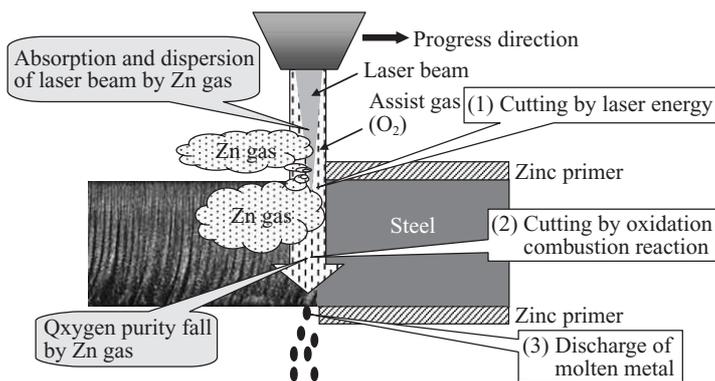


図2 ジंकプライマー塗布鋼板におけるレーザー切断現象
Fig.2 Laser cutting phenomenon of zinc primer coated steel

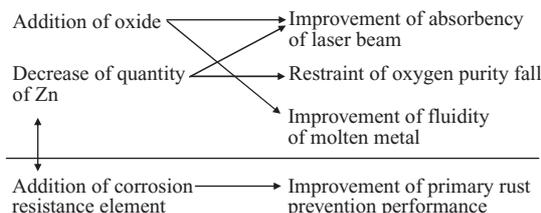


図3 開発コンセプト
Fig.3 Concept of development

3. 開発方法

前述した開発目標を実現するため、レーザー切断性および一次防錆性に関する各因子の影響を以下の実験方法で定量化し、最適な塗膜構成の検討を行った。

3.1 レーザ切断性

供試材は板厚 11 mm ならびに 12 mm の厚板 SM490A を使用し、ショットブラスト後、ジंकプライマー中の Zn 量の影響を検討する目的で、Zn 量を種々変化させたジंकプライマーを鋼板に塗装した。また、高レーザー吸収性物質である酸化物の影響を検討する目的で、ジंकプライマー中へTiO₂、Al₂O₃、ZrO₂、SiO₂をそれぞれ添加したジंकプライマーを鋼板に塗装した。塗装した鋼板のレーザー切断には、CO₂レーザー切断機(三菱電機株製)を使用し、レーザー切断条件を、出力 2.1 kW、アシストガス(O₂)圧 0.1 MPa とし、切断速度 400~1 600 mm/min の範囲で、切断性の評価を行った。切断性は、鋼板裏面のドロスの発生状況、切断面の表面状況を観察し、評価した。

3.2 一次防錆性

ジंकプライマー中へ Al を添加し、これを塗装した鋼板を、JIS K 5552「ジंकリッチプライマー」に準拠し、塩水噴霧試験、海岸暴露試験(6ヶ月)を行った。腐食評価試験片の形状は、70 mm×150 mm とし、ジंकプライマー塗布後、クロスカットを付加し、それぞれの試験に供した。

4. 検討結果および考察

4.1 レーザ切断性に及ぼす ジंकプライマー中の Zn 量の影響

写真1にレーザー切断速度 1 000 mm/min で切断したとき

Plate thickness: 11 mm
Cutting speed: 1 000 mm/min

Quantity of Zn (g/m ²)	Back side of steel cut off
0 (Mill scale steel)	
17	
46	

10 mm

写真1 切断された鋼板の裏面
Photo 1 Back side of steel cut off

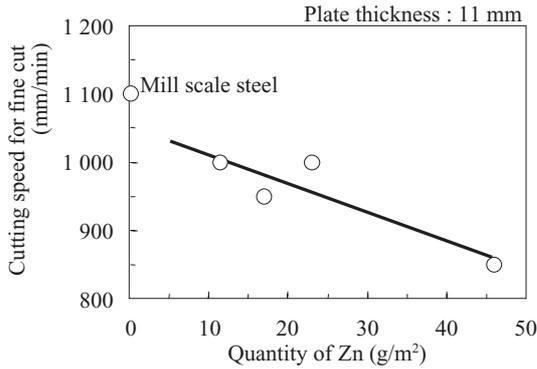


図4 美麗切断可能な切断速度に及ぼすジंकプライマー中の Zn 量の影響

Fig.4 Effect of quantity of Zn in zinc primer on cutting speed for fine cut

の鋼板裏面のドロス発生状況を示す。Zn 量 46 g/m² のジंकプライマーでは、切断線に沿って連続的にドロスが多量に発生したが、Zn 量 17 g/m² のジंकプライマーでは、ドロスの発生が少なくなった。図4に美麗切断可能な切断速度に及ぼすジंकプライマー中の Zn 量の影響を示す。Zn 量の低下に従い、美麗切断可能な切断速度が上昇した。本結果より、ジंकプライマー中の Zn 量の低減が、レーザ切断性の向上に有効であることが分かる。

4.2 レーザ切断性に及ぼす ジंकプライマー中の酸化物成分の影響

Zn 量の比較的少ないジंकプライマー中に種々の酸化物を添加したときの、レーザ切断性について調査した。図5に美麗切断可能な切断速度に及ぼすジंकプライマー中の TiO₂, ZrO₂, Al₂O₃, SiO₂ の影響を示す。TiO₂ については、添加量の増加にともない、切断可能速度が上昇した。ZrO₂ は、比較的少量の添加で切断可能速度を上昇させるが、多量の添加で切断可能速度を低下させた。Al₂O₃ は、切断可能速度に影響がなく、SiO₂ は、添加により切断可能速度を低下させた。写真2に、TiO₂ 無添加ジंकプライマー塗布

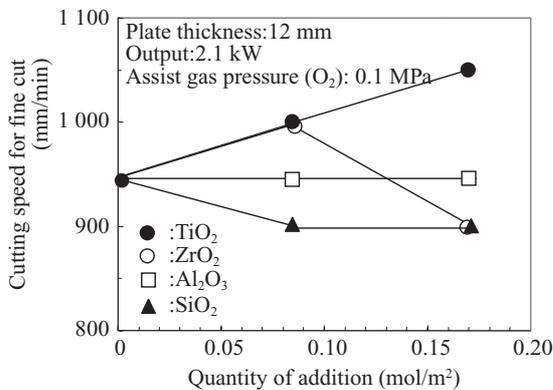


図5 美麗切断可能な切断速度に及ぼすジंकプライマーに添加された酸化物の種類の影響

Fig.5 Effect of the kind of oxide added to zinc primer on cutting speed for fine cut

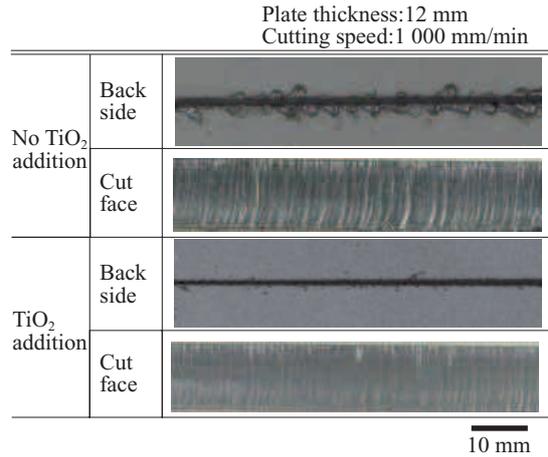


写真2 TiO₂ 無添加ジंकプライマー塗布材と TiO₂ 添加ジंकプライマー塗布材の裏面と切断面

Photo 2 Back side and cut face of zinc primer with TiO₂ and zinc primer without TiO₂ coated steel plates

材と TiO₂ 添加ジंकプライマー塗布材を、切断速度 1 000 mm/min で切断した後の鋼板裏面と切断面の状況を示す。TiO₂ 添加材では、鋼板裏面のドロスの発生量が顕著に低減し、さらに切断面は、条痕が細かく、整っていた。以上より、ジंकプライマー中への酸化物添加成分としては、TiO₂ がレーザ切断性の向上に最も有効である。

4.3 レーザ切断性向上に及ぼす ジंकプライマー中の TiO₂ の作用

レーザ光の吸収性に及ぼすジंकプライマー中の TiO₂ の影響を把握する目的で、TiO₂ 無添加ジंकプライマー塗布材と TiO₂ 添加ジंकプライマー塗布材について、CO₂ レーザ、出力 1.0 kW、焦点距離 2 mm、レーザ照射時間 0.1 s の条件で、塗布材表面をレーザ照射したときの塗布材表面（鋼板表面）における熱影響部の面積を測定した。写

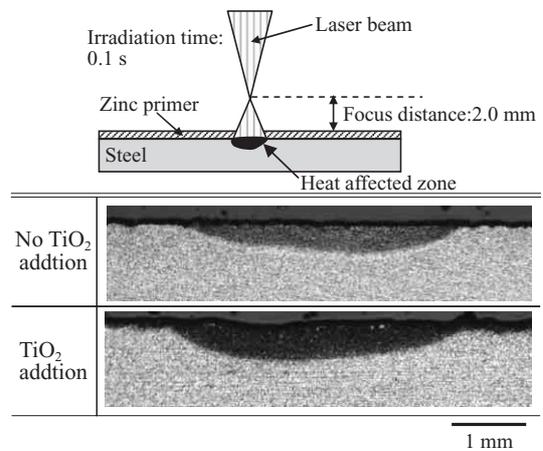


写真3 TiO₂ 無添加ジंकプライマー塗布材と TiO₂ 添加ジंकプライマー塗布材のレーザ照射後の鋼板表面熱影響部

Photo 3 Heat affected zone of the surface of zinc primer with TiO₂ and zinc primer without TiO₂ coated steel plates after laser beam irradiation

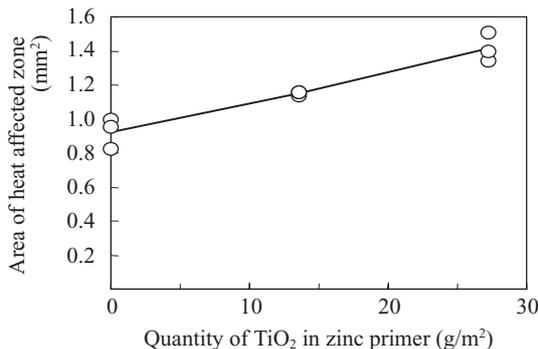


図6 熱影響部の面積に及ぼすジンクプライマー中のTiO₂量の影響

Fig. 6 Effect of quantity of TiO₂ in zinc primer on area of heat affected zone

真3に、TiO₂無添加ジンクプライマー塗布材とTiO₂添加ジンクプライマー塗布材のレーザー照射後の鋼板表面の断面写真を示す。写真中の黒色になっている部分がレーザー照射部であり、鋼板がレーザー照射により、熱影響を受けていることが分かる。ここで、TiO₂添加ジンクプライマー材では、熱影響部の面積がTiO₂無添加材よりも大きくなっていることが分かる。図6に熱影響部面積に及ぼすジンクプライマー中のTiO₂量の影響を示す。TiO₂量の増加にともない、熱影響部面積は増加している。以上のことから、ジンクプライマー中のTiO₂が、レーザー光の吸収性を向上させているといえる。

次に、TiO₂無添加ジンクプライマー塗布材とTiO₂添加ジンクプライマー塗布材の切断面の表面粗さ測定結果を図7に示すが、TiO₂添加材では、鋼板裏面側で表面粗さが低下している。このことから、TiO₂添加材では、鋼板中央部から下部にかけて、熔融金属が切断溝から容易に排出されたと推定でき、TiO₂により、溶鋼の流動性を上昇させる作用が推察できる。

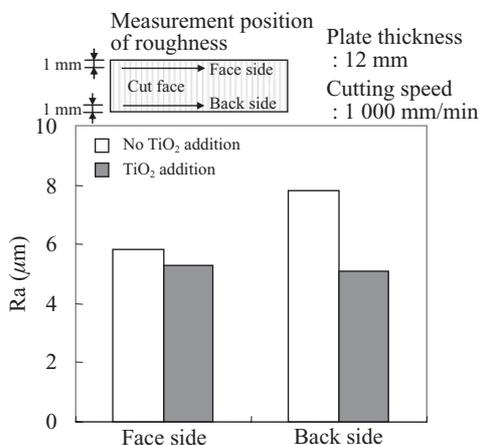


図7 TiO₂無添加ジンクプライマー塗布材とTiO₂添加ジンクプライマー塗布材の切断面の粗さ

Fig. 7 Roughness of cut face of the zinc primer without TiO₂ and the zinc primer with TiO₂ coated steel plates

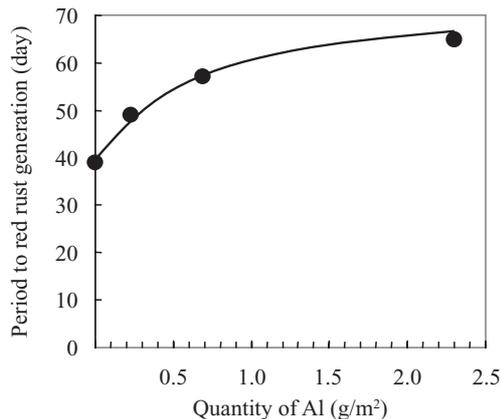


図8 塩水噴霧試験におけるジンクプライマー塗布材の赤錆発生までの日数に及ぼすジンクプライマー中のAl量の影響

Fig. 8 Effect of quantity of Al in zinc primer on period to red rust generation of zinc primer coated steels in the SST

4.4 一次防錆性に及ぼすAl量の影響

Zn量の比較的少ないジンクプライマーに、Alを添加し、その耐食性を調査した。図8に塩水噴霧試験におけるジンクプライマー塗布材の赤錆発生までの日数に及ぼすジンクプライマー中のAl量の影響を示す。Al量の増加にともない、赤錆発生までの日数が増加した。

また、Zn量の比較的少ないジンクプライマーに、Alを添加したときのジンクプライマー塗布材の海岸6ヶ月の暴露試験では、赤錆の発生は認められなかった。

以上のことから、ジンクプライマー中へのAl添加により、ジンクプライマー塗布材の耐食性は向上し、ジンクプライマー中のZn量を減少させても、Al添加により、一次防錆性は十分確保できることが分かる。

なお、Alの少量添加では、レーザー切断性を損なわない。

5. 低Zn-TiO₂-Al添加新ジンクプライマー塗布鋼板の開発とその性能評価

以上の知見より、レーザー切断性向上の観点からZn量を減少し、さらにTiO₂を添加し、一次防錆性向上の観点からAlを添加した低Zn-TiO₂-Al添加ジンクプライマーを設計、開発した。

低Zn-TiO₂-Al添加ジンクプライマーを塗布した鋼板のレーザー切断性と一次防錆性を、従来材と比較して、写真4に示す。ここで、レーザー切断性は、厳しい切断条件で試験、評価を実施している。レーザー切断性に関して、従来材である無機ジンクリッチプライマー塗布鋼板では、レーザー切断後の鋼板裏面で、ドロスが多量に発生している。一方、低Zn-TiO₂-Al添加ジンクプライマー塗布鋼板では、ドロスの発生が極めて少なく、切断面も滑らかである。このことか

Materials	Laser cutting performance		Primary rust prevention performance
	Plate thickness: 11 mm, Output: 2.1 kW, Assist gas pressure(O ₂): 0.1 MPa, Cutting speed: 1 000 mm/min		Exposure test in seaside zone for 6 months
Developed inorganic zinc primer of low zinc-TiO ₂ -Al type coated steel	Cut face		
	Back side		
Conventional inorganic zinc rich primer coated steel	Cut face		
	Back side		

写真4 開発された無機ジンクプライマー塗布鋼板のレーザー切断性と一次防錆性

Photo 4 Laser cutting performance and primary rust prevention performance of developed inorganic zinc primer coated steel

ら、低 Zn-TiO₂-Al 添加ジンクプライマー塗布鋼板は、従来材に対し、レーザー切断性が顕著に向上していることが分かる。また、一次防錆性に関して、海岸6ヶ月暴露後でも、低 Zn-TiO₂-Al 添加ジンクプライマー塗布鋼板は、赤錆の発生がなく、従来の Zn 量の多い無機ジンクリッチプライマー塗布鋼板とほぼ同等の一次防錆性を有している。

6. まとめ

- (1) ジンクプライマー中の Zn 量の低減と、ジンクプライマー中への TiO₂ 添加により、ジンクプライマー塗布鋼板のレーザー切断性が向上することが分かった。
- (2) ジンクプライマー中への TiO₂ 添加により、レーザー照射後の鋼板表面の熱影響部面積が増加することから、TiO₂ 添加によるレーザー切断性向上の要因の一つとして、レーザー光の吸収性向上があげられる。
- (3) レーザ切断性を損なわず、耐食性を向上させる Al をジンクプライマー中に添加することで、Zn 量の比較的小さいジンクプライマーでも、一次防錆性は十分確保できることが分かった。
- (4) 従来のジンクプライマー塗布鋼板に対して、一次防錆性を維持しつつ、レーザー切断性を向上させた低 Zn-

TiO₂-Al 添加ジンクプライマー塗布鋼板を設計、開発した。

参考文献

- 1) 松岡理, 木元庸晃, 村田剛. レーザ加工学会誌. 2006, vol. 13, no. 1, p. 30.
- 2) 長堀正幸, 石井幸二, 沼田慎治. 第 66 回レーザー加工学会講演論文集. 2006, p. 143.
- 3) 金岡優. レーザ加工. 日刊工業新聞社編. 1999.
- 4) 丸尾大, 宮本勇, 大家利彦, 長友晃彦. 溶接学会全国大会講演概要(第 44 集). 1989, p. 128.
- 5) 大家利彦. 大阪大学, 博士論文「レーザーによるセラミックスの除去加工に関する基礎的研究」. 1992 年. p. 55.
- 6) 北側彰一. 溶接技術. 1989-08, p. 78.



塩谷 和彦



鶴田 秀和



小森 務