
プロセスライン用レーザ溶接機の開発

Development of Laser Welder for Process Line

河合 義人(Yoshito Kawai) 相原 正樹(Masaki Aihara) 石井 功一(Koichi Ishii) 田
渕 衛(Mamoru Tabuchi) 佐々木 弘明(Hiroaki Sasaki)

要旨：

当社は新しい溶接法であるレーザ溶接を鋼板の製造プロセスラインに適用すべく開発を進めて来た結果、冷延材用レーザ溶接機の完成に引き続き、酸洗前の熱延材用として出力 5kW の発振器を備えたレーザ溶接機を国内で初めて、昭和 58 年 5 月水島製鉄所に、同年 7 月千葉製鉄所の各連続酸洗ラインに設置し、その後順調に稼動している。本溶接機は広幅(600-1880mm)、厚物(1.2-6.0mm)材の溶接が可能であり、従来の溶接法では困難であった鋼種に対しても十分溶接強度が確保できている。また事前処理から溶接まで全て自動運転により行われる。これら一連の開発により、多種に亘る鋼板の溶接処理が可能なレーザ溶接機の実用化が達成された。

Synopsis：

Kawasaki Steel Corp. has developed CO2 laser welders for the sheet steel production process. Four sets of CO2 laser welders have already been installed on the production floor, since the first laser welder was installed for coil build-up line at Hanshin Works in 1981. The 5 kW CO2 laser welders installed for pickling lines at Mizushima and Chiba Works in 1983 have unstable resonators, and wire feeders. Those are the first industrial application of 5 kW CO2 laser in Japan, which can weld all kinds of steel strips measuring up to 6 mm in thickness, and up to 1880 mm in width.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

河合 義人^{*2} 相原 正樹^{*3} 石井 功一^{*4} 田淵 衛^{*5} 佐々木 弘明^{*5}

Development of Laser Welder for Process Line

Yoshito Kawai, Masaki Aihara, Koichi Ishii, Mamoru Tabuchi, Hiroaki Sasaki

要旨

当社は新しい溶接法であるレーザ溶接を鋼板の製造プロセスラインに適用すべく開発を進めて来た結果、冷延材用レーザ溶接機の完成に引き続き、酸洗前の熱延材用として出力5 kWの発振器を備えたレーザ溶接機を国内で初めて、昭和58年5月水島製鉄所に、同年7月千葉製鉄所の各連続酸洗ラインに設置し、その後順調に稼動している。本溶接機は広幅(600~1880 mm)、厚物(1.2~6.0 mm)材の溶接が可能であり、従来の溶接法では困難であった鋼種に対しても十分溶接強度が確保できている。また事前処理から溶接まで全て自動運転により行われる。

これら一連の開発により、多種に亘る鋼板の溶接処理が可能なレーザ溶接機の実用化が達成された。

Synopsis:

Kawasaki Steel Corp. has developed CO₂ laser welders for the sheet steel production process.

Four sets of CO₂ laser welders have already been installed on the production floor, since the first laser welder was installed for coil build-up line at Hanshin Works in 1981. The 5 kW CO₂ laser welders installed for pickling lines at Mizushima and Chiba Works in 1983 have unstable resonators, and wire feeders. Those are the first industrial application of 5 kW CO₂ laser in Japan, which can weld all kinds of steel strips measuring up to 6 mm in thickness, and up to 1880 mm in width.

1 緒 言

鋼板のプロセスラインでは鋼板を溶接し連続的に処理する方法が取られており、近年、処理材の連続化、大型化、均一化等の要求が高まり、各種のラインで溶接機が必要となって来ている。この様な中で従来一般的に使われている溶接法としては、シーム溶接、フラッシュバット溶接、TIG溶接、MIG溶接等が挙げられるが、これらの溶接法は各々以下の欠点があった。

- (1) シーム溶接は鋼板を2枚重ねで溶接するため、溶接部に段差を生じる。
- (2) フラッシュバット、TIG、MIG溶接は突き合わせ溶接であるが、高珪素鋼、高炭素鋼等の溶接継手では、その信頼性が低い。

これらの解決法として入熱量が小さいレーザ溶接の優れた特性に着目し、約7年前より検討を開始した¹⁾。レーザ溶接は非常に細いビーム(φ0.3~0.5 mm)を用いて溶接するため、溶接機を構成する各部の機械精度はこれまでの溶接機と比べ格段に高いレベルを要求されることからその実用化が困難であった。当社はこの問題を解決し、第1ステップとして冷延製品コイルの溶接に適用し^{2,3)}、今回酸洗前の熱延コイルの溶接用として、5 kWのレーザ溶接機を開発したので報告する。

2 レーザ溶接機の開発経緯

2.1 当社のレーザ溶接機

当社のレーザ溶接機としては現在、阪神製造所コイル巻直しラインに1基(1号機)、千葉製鉄所第2冷間圧延工場スリッターラインに1基(2号機)、水島、千葉製鉄所酸洗ラインに各々1基(3、4号機)の合計4基が稼動している。前者2基は冷延工程の最終ラインである精整ラインに設置したものであり、1号機は高珪素鋼を含め珪素鋼を対象とした狭幅、薄物鋼板用の手動運転を主とした当社としては最初の実用機である。また2号機は広幅、薄物鋼板用の自動レーザ溶接機でそれぞれ出力1.0 kW~1.5 kW発振器を備えている。3、4号機は広幅、厚物鋼板用溶接機で、国内では初めて出力5 kWクラスの発振器を備え全自動溶接を行っている。Table 1に1、2号機の設備仕様を示す。

2.2 レーザ溶接機のニーズ

(1) 阪神レーザ溶接機(1号機)

従来、珪素鋼はTIGで溶接していたが、溶接端部での溶け落ちが発生し易く、またユーザの要求する溶接品質が十分得られなかった。レーザ溶接は出力の制御が容易であることから溶け落ちを防止でき、溶接品質も良好なものが得られる。

(2) 千葉2冷レーザ溶接機(2号機)

最終製品の薄物コイルをビルドアップする場合、巻取り時の腰折れ等を生じないように溶接部を非溶接部と同厚にすることが必要であるが、従来の突き合わせ溶接法ではビード部の盛り上がりが大きく、なおかつこれを完全に除去することが困難であった。ビード部の盛り上がり小さく、除去し易い溶接法としてレーザ溶接の特性の利用が考えられた。

*1 昭和58年11月8日原稿受付

*2 千葉製鉄所設備技術部機械技術室主任(掛長)

*3 千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主任(課長補)

*4 水島製鉄所薄板圧延部冷延建設班主任(課長)

*5 水島製鉄所保全部保全技術室

*6 技術研究所第2研究部溶接研究室主任研究員(課長補)

Table 1 Specification of laser welder for cold rolled strip

Welder	No. 1	No. 2
	(Hanshin Works)	(Chiba Works)
Item		
Year installed	June 1981	Oct. 1981
Treated material	Cold rolled silicon steel	Cold rolled low carbon steel
Strip thickness (mm)	0.2~0.7	0.4~2.3
Strip width (mm)	50~500	508~1270
Type of laser	CO ₂ laser	CO ₂ laser
Laser power (kW)	Max. 1.0	Max. 1.5
Torch speed (m/min)	Max. 10	Max. 10
Remarks	• The first laser welder for commercial production at KSC*	• The first automatic laser welder at KSC*

* Kawasaki Steel Corp.

2.3 レーザ溶接技術

レーザを利用した技術には溶断、溶接、熱処理等がある。比較的低下力のレーザ発振器は上記各分野で既に実用に供されているが、製鉄プロセスで要求される高出力発振器は殆んど使われておらず、特に国内での実用化の例は皆無であった。

また、レーザ溶接そのものが非常に高い機械精度を要求され、突き合わせ部の直線度、あるいはレーザビーム走行精度の実現が非常に困難であった。しかし、当社は1号機から順次グレードアップを図り一連のレーザ溶接機を完成させた⁴⁾。

3 酸洗ライン用レーザ溶接機

酸洗ラインでは従来フラッシュバット溶接機が主流を占めて

おり、これまで多くのラインに採用されてきた。しかし入熱が大きいことからおのずと被溶接材に限界があり、特に高珪素鋼、高炭素鋼のような材料に対しては溶接強度が確保できず、ビルドアップ材の冷間圧延が困難であった。そこで主に特殊材を対象としての酸洗ライン用レーザ溶接機の開発に取り組んだ。

酸洗ライン用としてのレーザ溶接機は1、2号機と比較して以下の課題を解決する必要があった。

- (1) 対象材が厚物 (最大6 mm)、広幅 (最大1880 mm)
- (2) 抗張力が高い (最大120 kgf/mm²)
- (3) 酸洗前の熱延材であり、形状が悪い (急峻度最大4%)
- (4) 設置場所の環境が悪い

これらの問題点を高出力発振器の開発、機械精度の向上、ファイアーワイヤーの採用により解決し、国内で初めて酸洗ライン用のレーザ溶接機を実用化することができた。以下、酸洗ラインのレーザ溶接機についてその技術内容、主な特徴、実操業結果等を述べる。

3.1 ラインレイアウト

Fig. 1 にラインレイアウト (入側セクション) 例を示す。レーザ溶接設備は酸洗ラインの入側に設置し、主要構成としてレーザ発振器、溶接機、研削機から成り立っている。本設備の基本構成を Fig. 2 に、基本仕様を Table 2 に示す。また溶接の概念を Fig. 3 に示す。

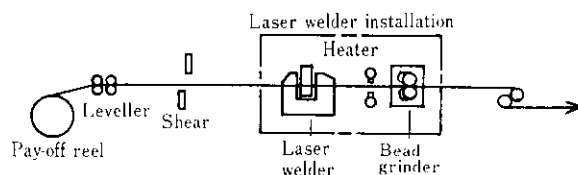
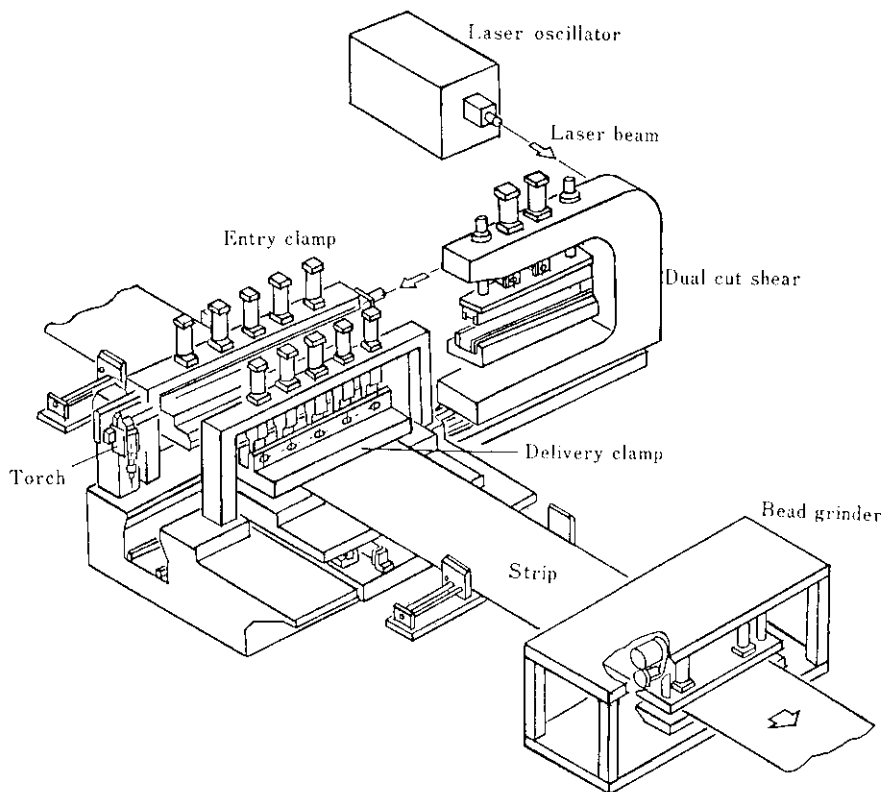
**Fig. 1** Arrangement of pickling line (at entry section)**Fig. 2** Schematic diagram of laser welder and bead grinder

Table 2 Specification of laser welder installation at pickling line

Item	Welder		No. 3(Mizushima Works)	No. 4(Chiba Works)
Treated material	Kinds of steels	Hot rolled silicon steel, high carbon steel		
	Thickness (mm)	1.6~6.0		
	Width (mm)	600~1 650		
	Tensile strength (kgf/mm ²)	Max. 80		
Laser oscillator	Type	CO ₂ laser (Unstable)		
	Output power (kW)	5		
	Head type	3-axes high gas pressure		
	Laser gas	(CO ₂ ·CO·N ₂ ·He)		
Laser welder	Shear type	Dual cut shear (shear rake 1°30')		
	Torch speed (m/min)	Max. 10		
	Filler wire supplying device	Owned		
	Wire feed rate (m/min)	1.0~10		
	Focal distance of lens (mm)	254 (10")		
	Material of lens	ZnSe		
	Shielding gas	Ar		
Bead grinder	Type	One-head stone grinder		
	Grinding speed (m/min)	1.0~5		
Heat treatment device		Not owned		

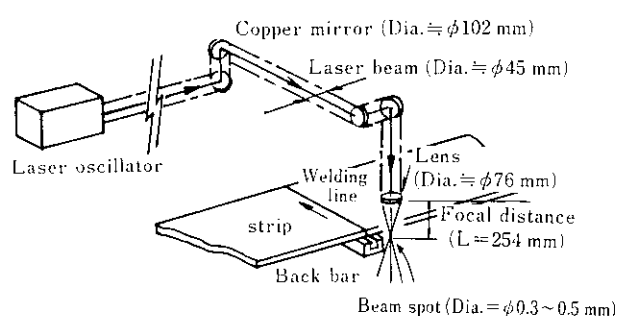


Fig. 3 Process of laser welding

3.2 処理フロー

レーザー溶接後熱処理、ビード研削を行っている。Fig. 4 にフローを示す。

3.3 要求機能

(1) 溶接機本体

レーザー溶接機は非常に細いビーム（スポット径、0.3~0.5 mm）を銅板に当て突き合わせ部に沿って溶接するため、Fig. 5 に示す各部の精度をある範囲に抑えることが要求される。

(2) 研削機

溶接後のビード表面部は微視的に粗い状態にあり、特に高純度銅を含む特殊銅に対してはこれがノッチとなりこのままではこの部分から破断する恐れがある。そのため、研削後のビード部表面性状が溶接強度に与える影響を調査した結果、

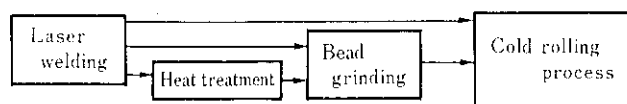


Fig. 4 Flow diagram of laser welded joint being treated for cold rolling

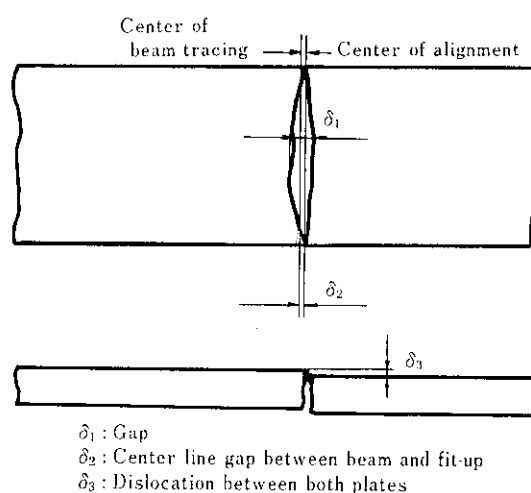


Fig. 5 Fit-up configuration

表面粗度、研削幅等が大きく関係することがわかった。

3.4 特徴

(1) 高出力発振器の開発

最大板厚6 mm までの銅板をレーザーで溶接するには従来の発振器出力（~1.5 kW クラス）では溶け込み深さの確保が困難であり、更に溶接速度を上げ溶接入熱を低く抑えなければ溶接強度が確保できない問題があった。今回5 kW の出力を持つレーザー発振器を実用化したことにより、厚物銅板の高速溶接が可能となった。Fig. 6 に発振器出力、溶接速度、溶け込み深さの関係を示す。

(2) 高精度剪断、突き合わせ機構

高精度剪断を行うため、レーキ角1°30' の刃によるデュアルカット方式を採用した。シャーは上下各2枚刃により構成され、先後行コイルの端部を同時に剪断するものである。この種のシャーでは一般に切断部分の垂れ下がり、剪断側方力による銅板の変形が生じ剪断線の直角度が悪くなる傾向があ

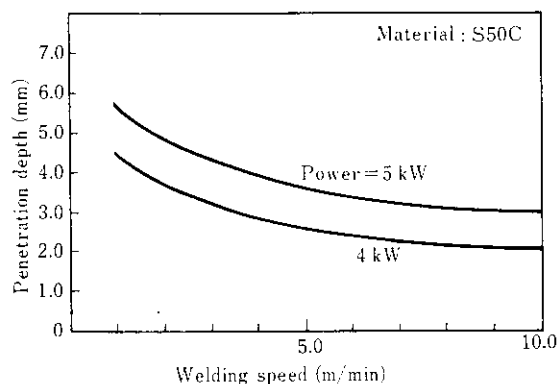


Fig. 6 Variation of penetration depth with laser power and welding speed

る。これを防止するため、鋼板の自動停止精度向上によるシャー刃からの突き出し量およびクランプ先端部とシャー刃位置との間隔をできるだけ小さくし、切断精度を上げた。また、切断時のシャーフレームの変形防止機構、側方力によるシャークリアランス変動防止機構をも備えており、これらの対策によってより高い切断精度が確保できた。一方、切断後の両鋼板を再現性良く突き合わせるため、出側クランプを入側の方向に移動させストッパーにて位置決めする方式と鋼板同志を押し付ける方式の2通りが可能となった。前者では突き合わせの微調整をストッパーにて行い、後者ではクランプ本体が水平方向に揺動する機構を備えており、これにより突き合わせ面のギャップ量を軽減している。また、突き合わせ部の板形状を修正する目的で、突き合わせ部の下側からバックバーで押し付ける方式により高精度突き合わせが可能となった。

(3) フィラーワイヤー供給装置

フィラーワイヤーは主に高炭素鋼等の溶接強度向上の目的に使われ、Fig. 7のように突き合わせ部に供給、溶接される⁵⁾。通常ワイヤーを使用しない場合、突き合わせ部のギャップをできるだけ窄の状態に溶接するが、ワイヤー使用時はギャップを0.1~0.5 mm程度あけて溶接する。このことから一般材に対しても溶接機の機械精度に対する要求を緩和することが可能となり、より実用性が向上することになる。

このようにフィラーワイヤーは特殊鋼だけではなく、あらゆる材料を対象として溶接品質維持、向上および研削時の負

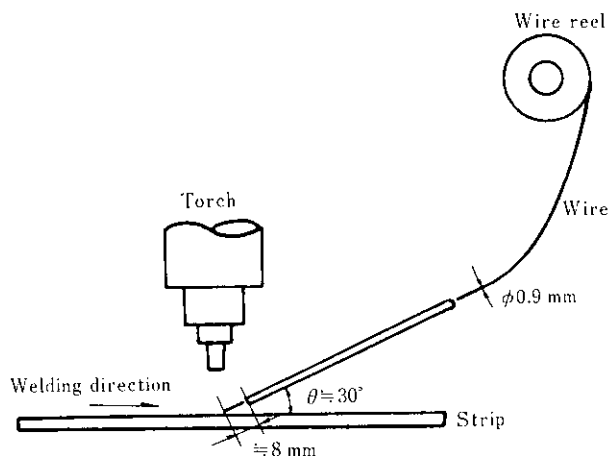


Fig. 7 Schematic diagram of filler wire supply

荷を軽減する点でも有効な手段である。

(4) トーチ移動機構

処理材の板厚あるいは鋼種が変わる場合、集光レンズ位置を遠隔操作で上下させ焦点位置を調整し、またフィラーワイヤーを使用する場合にはビーム中心と鋼板のギャップ中心とを合わせるため、トーチをライン長手方向に移動、精度良く停止させる必要がある。本装置ではFig. 8に示す調整量、停止精度に基づいている。

(5) 砥石研削方式の採用

ビード部の除去は従来のフラッシュバットではビード盛り上がりが大きく、溶接部をバイトで上下からはさみ板幅方向に切削する方式が取られている。一方、レーザー溶接ではビード盛り上がり小さく、この結果取り代が少なくすむ。また、切削時のスクラッチ疵が板幅方向に形成されると溶接品質が悪化する材料に対してはバイト方式は有効な方法ではない。更に前述のように、除去後の板面粗度、除去幅が高炭素鋼等の溶接品質に大きく影響することがわかり、総合的な判断によって今回は砥石による研削方式を採用した。砥石研削では特に板端部での削り過ぎが生じ易く、このための過剰研

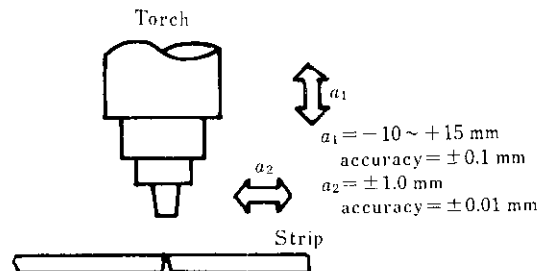


Fig. 8 Adjustable range of torch

削防止機構を備えている。

3.5 安全対策

レーザービームは非常にエネルギー密度の高い熱源ではあるが、エックス線のような放射線とは異なり光学伝送経路を含むビームの光路以外では安全である。しかし、今回高出力発振器を鋼板の製造ラインに設置することから万全を配し以下の安全対策を実施した。

(1) 光学伝送経路

伝送経路は発振器から溶接機まで全体を鋼製ダクトでカバーしている。内部にはビームの設定光路からのずれを検知するサーモセンサーを取り付け、ビームが設定光路からずれた場合は瞬時にビームを発振器内部で遮断する。

(2) 溶接機本体

溶接機本体の周囲は可能な限りアクリル板で覆い、加工点からの反射光が周辺に影響を与えないよう配慮している。

(3) トーチ部

集光レンズを内蔵しているトーチ部が溶接中、外部から何らかの力が加わった場合この力を検出するセンサーを備えており、異常時に対処している。

4 操業状況

従来のフラッシュバット溶接では不可能、または溶接が不安

定で強度が出ないため、溶接部を巻き込んでの冷間圧延ができない鋼種を **Table 3** に示す。

これらの代表鋼種についてレーザー溶接による溶接品質、操業状況について述べる。

(1) 珪素鋼

溶接強度を得るための要点は以下の通りである。

- (a) 溶接入熱を低くすることにより、熱影響部での結晶粒の粗大化を防止する。
- (b) ギャップ、焦点位置、(フィラーワイヤーを使用する場合には供給量) 等をコントロールすることにより、余盛の小さい均質な溶接継手を得る。

現在溶接速度は4~5 m/minで行っている。**Photo 1**に高珪素鋼 (Si: 3%) の溶接部断面写真を示すが、溶融部も狭く、熱影響による結晶粒の粗大化もほとんど見られない。従来溶接が不可能であった高珪素鋼の溶接をレーザービームで行い、ビルドアップされたコイルを冷間圧延している。

(2) 高炭素鋼、合金鋼

この鋼種については、

- (a) 特にC含有量が高い材料に対しては、ブローホールの発生を防ぐため、フィラーワイヤーにより適当な希釈を行う。**Fig. 9**に溶接部のC含有率と溶接強度(強度指標として反復曲げ回数値を示す)との関係を示す。
- (b) 地鉄とフィラーワイヤーとの混合を最適にするため、ギャップ、溶接速度、ワイヤー供給量をコントロールする。

Photo 2に0.6%炭素鋼の断面部を示す。高珪素鋼と同様の良

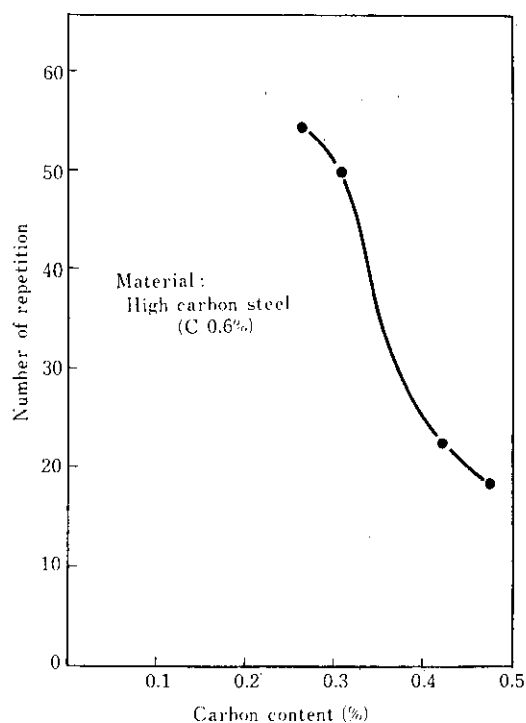


Fig. 9 Relation between number of repetition and carbon content of welded metal

Table 3 Materials unsuitable for flash butt welding process

Material	Note
Silicon steel (More than 1.5% Si)	(1) SiO ₂ film in welded joint (2) Coarse grains in HAZ
High carbon steel (0.4% ≤ C ≤ 1.5%)	(1) Unstable flashing (2) Hardened reinforcement
Medium carbon steel (0.3% ≤ C ≤ 0.4%)	Unstable flashing
Low alloy steel	Unstable flashing
High tensile steel	Unstable flashing

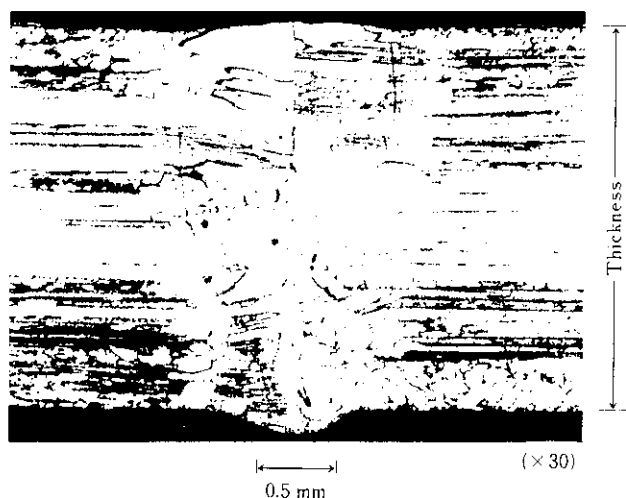


Photo 1 Cross section of welded joint (with filler wire)

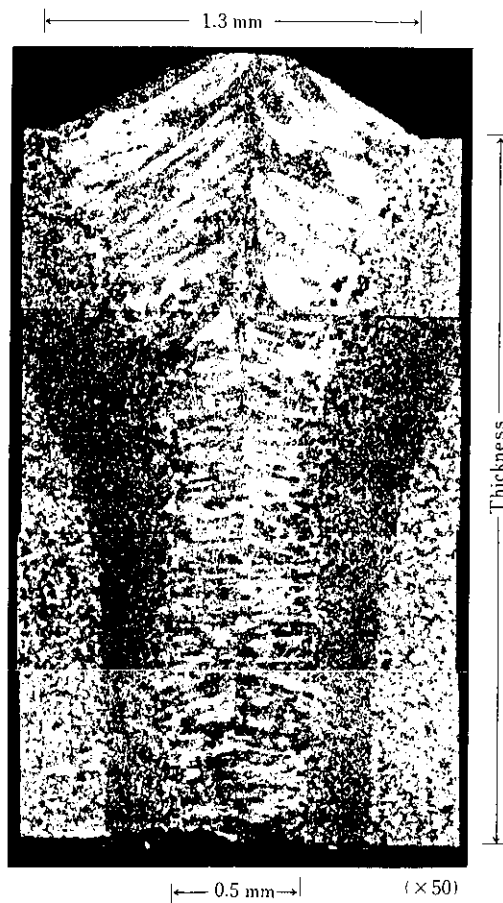


Photo 2 Cross section of welded joint (with filler wire)

好な溶接品質が得られている。

(3) 中炭材, その他

フラッシュバット溶接と異なり, 酸化物の発生巻込みが皆無であるため, レーザ溶接部は安定した強度が得られる。Fig. 10 に中炭材の溶接強度(強度指標として反復曲げ回数値を示す)の比較を示すが, フラッシュバットに比べ4~5倍の溶接強度を持っている。このように, レーザ溶接ではフラッシュバット溶接が困難な材料でも可能となり, 現在水島, 千葉合わせて約8 000 t/月の熱延材を処理している。これまで, 大きなトラブルも無く歩留, 原単位, その他ビルドアップによるバンドリング性の向上に寄与している。また, 溶接時間についてもフラッシュバット溶接と同じレベルのサイクルタイムが期待でき, 一般低炭材でも良好な溶接品質が得られている。レーザ溶接機の発振器から溶接機に至るまでの光学伝送系(レンズ, ミラー等)が鉄鋼ラインの悪環境で性能が維持できるか懸念されていたが, これまでの操業の結果では特に問題は無い。

5 フラッシュバット溶接機との比較

Table 4 にレーザ溶接機とフラッシュバット溶接機との比較を示す。サイクルタイムが長い点以外, 同等かそれ以上の長所

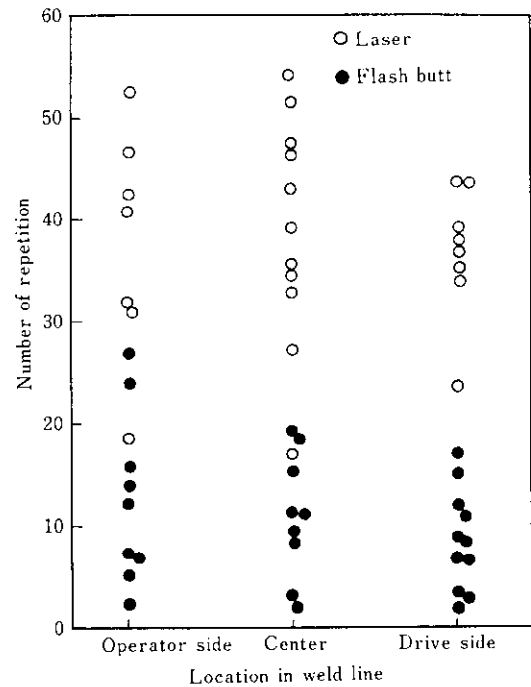


Fig. 10 Comparison of welded joint fatigue strength by reverse bend test (JIS Z 3126) in both laser and flash butt welding of a medium carbon steel

Table 4 Comparison of laser welder with flash butt welder

Item \ Welder	Laser welder	Flash butt welder (The newest type)
Treated material	High silicon steel High carbon steel	Low carbon steel
Cycle time (Ex. mild steel)		
	(Time ratio $\approx 1.2:1$)	
Initial cost	Laser oscillator Welder	Welder
	(Cost ratio $\approx 0.8:1$)	
Maintenance (Parts periodically exchanged)	Lens Mirror Shear blade	Electrode Trimmer bite Shear blade
Space for welder		
	(Total space ratio $\approx 1:1$)	

を持っている。

フラッシュバット溶接はその性格上、溶接時溶融金属が周辺に飛散し設備上の環境対策が必要である。一方レーザ溶接はヒュームが多少発生するがほとんど無視できる量であり、特に設備上の配慮は必要ない。

6 結 言

新しい溶接法として脚光を浴びているレーザ溶接を鉄鋼プロセスラインで実用化し、現在までに4基のレーザ溶接機を設置

してそれぞれ所期の目標を達成している。特に酸洗ライン用レーザ溶接機は広範囲の鋼種を対象として稼動中であり、従来の溶接と比べ非常に良い結果を得ている。

レーザ溶接は溶接点のパワー密度が大きいため、低入熱で溶接することができ、従来の溶接法以上の溶接品質が得られる。また、溶接部形状が良好であることも特徴の一つである。このような点を利用して今後、

(a) 適用鋼種の拡大

(b) 適用ラインの拡大

を図り、多目的溶接機として確立する予定である。

参 考 文 献

- 1) 佐々木、西山、坪井：川崎製鉄技報，13（1981）3，104
- 2) 小野他：「電磁鋼板製品へのレーザ溶接の応用」，川崎製鉄技報，14（1981）2，173
- 3) 谷口他：「多目的レーザ溶接機の開発」，日本鉄鋼協会第104回秋季講演大会，68（1982）12，S 1077
- 4) 佐々木他：「鉄鋼製造プロセスへのレーザ溶接の適用」，鉄と鋼，69（1983）2，A 81
- 5) 佐々木他：「ワイヤー送給式レーザ溶接」，溶接学会全国大会講演概要集，31（1982），236