

ステンレス焼鈍酸洗ラインへの 10kW レーザ溶接機の導入*

川崎製鉄技報
19 (1987) 1, 31-35

10 kW Laser Welder for Stainless Steel Annealing and Pickling Line



河合 義人
Yoshito Kawai
千葉製鉄所 設備技術
部機械技術室 主査(課
長補)



中原 久直
Hisanao Nakahara
千葉製鉄所 設備技術
部機械技術室 主査(課
長)



横沢 二男
Futao Yokozawa
千葉製鉄所 設備技術
部機械技術室 主査(掛
長)



緑川 雅之
Masayuki Midorikawa
千葉製鉄所 設備技術
部電気・計装技術室



高田 正和
Masakazu Takada
千葉製鉄所 冷間圧延
部冷延技術室 主査(課
長)



伊藤 正彦
Masahiko Ito
千葉製鉄所 冷間圧延
部冷延技術室 主査(掛
長)

1 緒 言

千葉製鉄所の APL (Annealing and Pickling Line) はステンレス鋼板の連続焼鈍・酸洗ラインであり、処理能力は月間約2万tである。今後の需要の拡大、品質レベルの向上などの要請に対応するため、生産能率、品質、歩留りに対し大きく影響を与えていた溶接機をスポット溶接機に代え、レーザ溶接機を導入した。当社は、これまで5基のレーザ溶接機(最大出力5kW)を千葉、水島両製鉄所¹⁾および阪神製造所²⁾のプロセスラインに設置しているが、今回最大板厚8mmの溶接に対処するため、世界でも実用機としては最大規模の10kW レーザ溶接機を導入した。本設備は付帯機器として、ビード研削装置、後加熱装置、ノッチャー、スクラップ搬送装置などを備えており、APLで処理する全鋼種の溶接が可能であり、またおのの自動運転を行っている。

* 昭和61年11月4日原稿受付

要旨

千葉製鉄所第2冷間圧延工場のステンレス用連続焼鈍・酸洗ラインにレーザ溶接機を導入し、昭和61年3月より稼動した。本レーザ溶接機は生産ラインとしては世界で初めて出力10kWの能力を有する発振器を備えており、溶接最大板厚は8mmである。高出力時の光学系の安定化、レーザビームの長距離伝送などの課題に取り組んだ結果、安定した溶接が実現できた。溶接部はメカニカルデスケーリングおよび圧延可能な強度をもっており、溶接サイクルタイムの短縮とあいまって生産能率の向上、歩留り向上に大きく寄与している。

Synopsis:

A laser welder, installed in the stainless annealing and pickling line (APL) at No. 2 Cold Rolling Mill of Chiba Works, started operation in March 1986. This is the first industrial application of 10 kW oscillator in the world, which can weld stainless steel up to 8 mm in thickness. By stabilizing optical parts and laser beams through a long optical transmission path at high power welding, welding stability has been obtained. High strength of the welded joint obtained by the laser welder has made it possible to improve productivity and material yield by passing the full length of the coil including the welded joint through the bend type descaler.

本報では、本溶接機の特徴と操業状況について報告する。

2 従来溶接法の問題点

Fig. 1 に示すようにステンレス製造メーカー各社におけるステンレス焼鈍・酸洗ラインで使用されている溶接機はその主流がスポット溶接機であり、当製鉄所も稼働以来スポット溶接機で処理していた。この溶接法での問題点は以下のとおりである。

- (1) コイル接合部は重ね継手のため、冷間圧延工程における大型コイル化ができず、歩留り向上が狙えない。
- (2) 溶接処理時間が長く生産性が低い。
- (3) ライン内のメカニカルデスケーリングが溶接部前後で使用できないので歩留り、および生産性の低下を招く。
- (4) 重ね継手部に酸液が侵入し、これが継手両側での酸汚れを生じ歩留りが低下する。

上記問題点はレーザ溶接機により一挙に解決できるものであり、今回ステンレス専用ラインに世界に先駆けてレーザ溶接機を導入した。

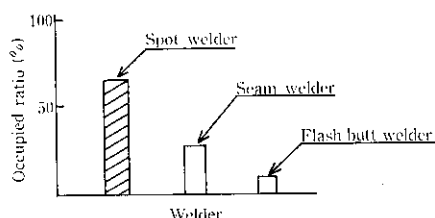


Fig. 1 Types of welders used for APL in stainless steel makers

3 設備概要

3.1 ライン概要

入側セクションの配置を Fig. 2 に示す。2 基のペイオフリールから巻き戻されたコイルはレーザ溶接機で溶接された後、溶接部をビード研削機、ノッチャーにより処理される。レーザ発振器は隣接ヤードの電気室に設置している。

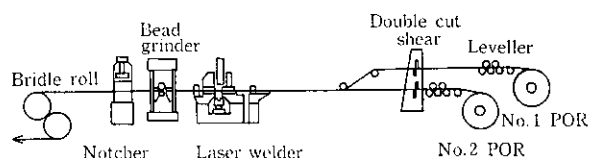


Fig. 2 Layout of APL (entry section)

3.2 設備構成

レーザ溶接設備の構成を Fig. 3 に、おもな仕様を Table 1 に示す。レーザ溶接機はレーザ発振器、光学伝送系、加工ヘッド部、剪断装置、入出側クランプ装置、スクラップ処理装置から構成されている。以下、その特徴を述べる。

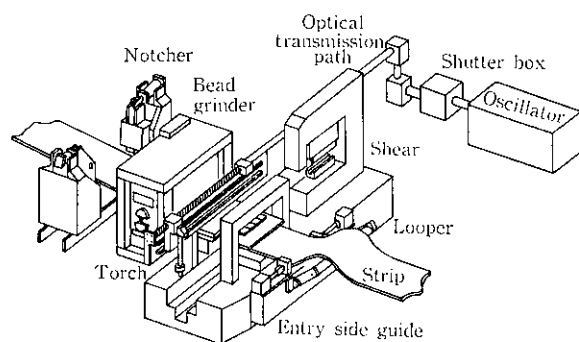


Fig. 3 Outline of 10 kW laser welder

3.2.1 レーザ発振器

最大板厚 8 mm (オフゲージ部を含むと約 9 mm) のレーザ溶接を行うには従来の出力 5 kW では溶接速度を下げても十分な溶込みが得られず、また、実用的な点からは高出力で高速溶接を行うことが有利である。上記の観点から、今回発振出力 10 kW の能力を有する発振器を導入した。

3.2.2 光学伝送系

ライン配置の制約上、発振器と溶接機との相対位置が離れており、光学伝送距離(発振器出口～加工位置)は約 19 m である。Fig. 4 に伝送系の構成図を示す。レーザビームは伝送系内の 4 枚の金属

Table 1 Specifications of laser welder

Strip	Thickness (mm)	1.6~8.0
	Width (mm)	650~1600
	Tensile strength (kg/mm ²)	Max 100
Laser oscillator	Type	CO ₂ Laser (Unstable)
	Output power (kW)	10
	Laser gas	(CO ₂ , He, N ₂)
	Material of window	ZnSe
Beam transmission path	Length of path (m)	≒19
	Number of mirror	4
	Material of lens	ZnSe
Laser welder	Shear type	Dual cut shear
	Shearing force (t)	150
	Torch speed (m/min)	Max 10
	Wire feed rate (m/min)	1.0~15
	Assist gas	He and Ar

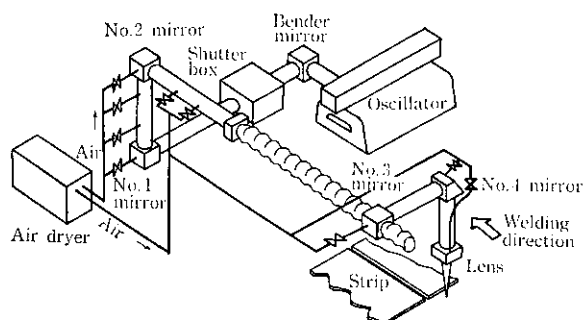


Fig. 4 Outline of optical transmission path

平面ミラーにより順次反射され、集光レンズで集光される。ビームが遠方まで光軸がズレない、ビーム形状の乱れがないなど、安定して伝送するには共振器ミラーを含め、伝送系ミラー取付精度、伝送系内温度分布の均一性、集光レンズ取付精度が大きく影響するためこれらの要因を十分管理する必要がある。ミラーの位置調整はミクロンのオーダーで調整可能とし、とくに共振器ミラーはウォーミングアップを行い発振器内が熱的平衡状態に到達した時溶接するようにシーケンス制御を行っている。伝送系内は外部からの粉塵侵入による光学系の劣化(ミラー反射率の低下、レンズ吸収率の増大)を防止する目的で密閉構造としたため、ビームの熱エネルギーによる系内温度上昇が生じる。系内での温度分布が任意断面で不均一であると、これにともないビーム形状に乱れを生じビーム特性が悪くなる。このビームの乱れを防ぐため、清浄なドライエアーを系内に流している。ビーム特性を Photo 1 に示す。発振器出口でのビーム径は約 45~50 mm, 19 m 先の集光前では約 60~65 mm であり、ビームの拡がり角は 1 m rad 以下である。また発振器内部の真空と大気とを仕切っている出力ウインドーは平面鏡(透過率 99% 以上)であるが、表面性状が悪くなるとビームの熱エネルギーを吸収しやすくなり、その結果、熱変形を生じビーム特性が変化し、ウインドーそのものも劣化する。さらにウインドーの物理的変形(取付時の圧縮歪など)が存在すると、同様にビーム特性の劣化の原因になる。これを防止するため、ウインドー表面の汚れを防ぐとともに、冷却の強化、物理的変形の生じない固定方法を採用した。

Fig. 5 は加工位置におけるビームのエネルギー密度分布を示した

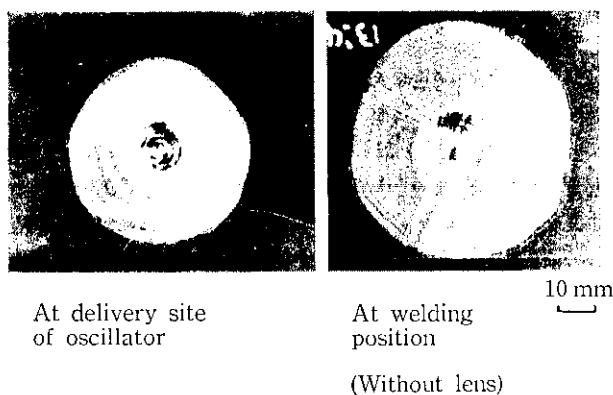


Photo 1 Beam profiles of near-field and far-field position

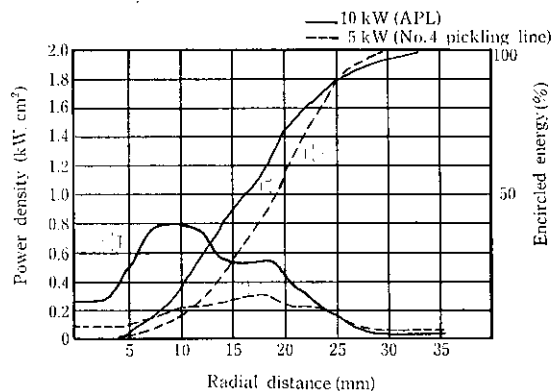


Fig. 5 Distribution of power density for 5 kW and 10 kW laser welder at welding position

ものである。比較として 5 kW (千葉製鉄所 第 2 熱間圧延工場の酸洗ラインのレーザ溶接機) のものをあわせて示す。レーザビームはリングモードで拡大率 M (ビーム外径と内径の比) は 10 kW が $M=3$, 5 kW が $M=2$ である。

3.2.3 加工ヘッドのトーチ部

Fig. 6 は加工ヘッドのトーチ部を示す。集光レンズは高出力用として適している ZnSe 製を使用している。レンズは表面性状によってその寿命が大きく左右される。上面では伝送系内からの異物付着、下面からは被溶接材からのスパッタ付着を防止するため、レンズ上面からの清浄なドライエアーの吹き込み、下面については焦点距離の長い (254 mm) レンズの採用、トーチノズル開口部の径小化、センターガス量の適正化などを図っている。

通常、レーザ溶接では加工部を不活性雰囲気にして良好な溶接品質を得るため、不活性ガスをトーチノズルから吹き付けている。Fig. 7 はガスの種類による溶込み深さの変化を示している。出力が 7 kW の場合、Ar では He に比べ溶込み深さが溶接速度に応じて約 10~25% 程度低下するだけであるが、出力が高くなるにつれてその低下率は増加する傾向にある。今回は He ガスを使用し高出力溶接性能を向上させている。

3.2.4 剪断装置

(1) 自動シャークリアランス機構

板厚 1.6~8 mm と広い範囲を精度よく切断するには同一のクリアランスでは不適當であり、板厚範囲に応じて変化させる必要がある。これまで、このクリアランス調整は板厚範囲に応じてその都度ライン外でライナー厚みを変えらることにより行っていたが、本溶接機では上刃間隔を任意に変化させて、自動的にクリアランス調整ができるようにした。この結果、種々変化する板厚に対し

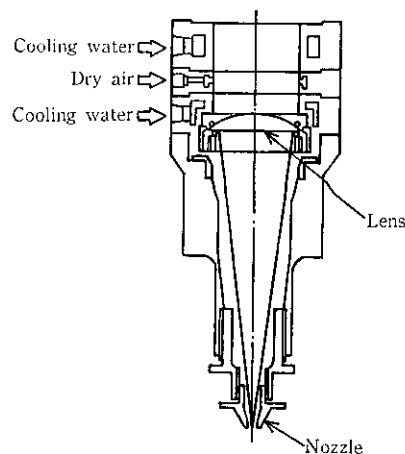


Fig. 6 Configuration of torch head

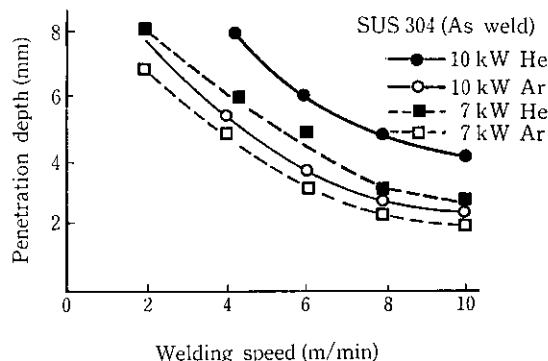


Fig. 7 Relation between welding speed and penetration depth by using assist gas

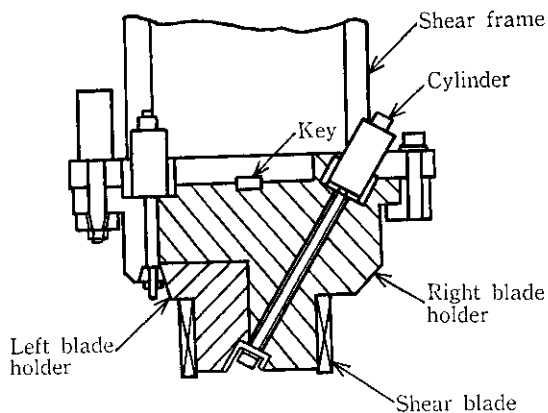


Fig. 8 Mechanism of automatic shear clearance

ても遠隔調整を行い、安定した切断精度が得られる。Fig. 8 に機構の概略を示す。この機構は上刃のホルダーを 2 分割にし、かつこの合わせ面は互いに傾斜部を有しており、調整時は傾斜部を長手方向に対しおのおの反対側に移動させて上刃間隔の拡縮を行うものである。刃替交換は従来と同じ方法ででき、刃替時間が長くなることはない。

(2) パンチャー内蔵

溶接部トラッキング用として、通常、溶接部近くに穴をあけ、これをライン各所に設けられたセンサーで検出し溶接点の位置情報を管理している。これまではパンチャーをサイクルタイム上、クランプに内蔵していたが、この方式ではクランプの取合上、パ

ンチャーの位置が溶接線より離れることになり、その結果、後工程でこの部分を除去するため歩留りが低下する。本溶接機では剪断装置にパンチャーを設けて、穴の位置と溶接線との距離を従来方式での約700mmから約40mmとした。

(3) サイクルタイム短縮化

従来、剪断装置は先行板と後行板が所定位置でクランプされた後、ライン内に移動して先行板と後行板を同時に切断、再度ライン外に退避する方式を採っていたが、今回溶接時以外はライン内に常時待機させることによりサイクルを約12秒短縮した。

(4) 板幅検出装置

板幅検出は剪断装置に光学のセンサーを取り付け、先行板と後行板のクランプからの突き出し部を剪断装置がライン内に移動するとき検出していた。従来、この突き出し量は切断前の板端部を検出するため、少なくとも50mm以上はあった。今回切断後の突き出し量約2.5mmと非常に短い量を検出することになったが、センサーの構造を変えることにより必要な検出精度を得ることができた。

3.2.5 入出側クランプ

板のキャンパーによる突き合わせ部での先行板と後行板のセンターずれを防止するため、入側クランプは最大±50mm板幅方向に移動する機構を備えている。

3.2.6 スクラップ処理装置

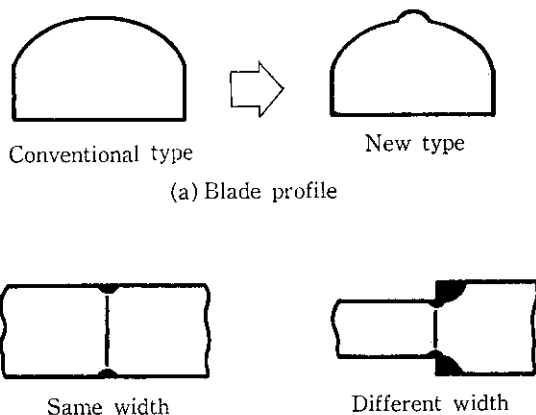
剪断装置で切断された端板は一度下刃ホルダー内に受け、ライン外に設置されたスクラップ処理装置で取り出され、スクラップ搬送装置によってライン横の端板バグへ鋼種切換えダンパーを経て投入される。この一連の動作は全て自動運転である。

3.2.7 付帯設備

(1) ビード研削機

ビード研削は、レーザ溶接後の余盛あるいは板厚段差を除去しライン内メカニカルデスケリング装置を安定化するため、また、圧延での破断防止のために必要である。

本装置は、最大板厚差1mmを砥石の1往復で研削できる能力をもっている。溶接線を正確に研削するには、溶接線と砥石中心を一致させなければならない。本装置は、溶接時に板中心にあげた孔を検出し、溶接機から研削機まで自動板送り後、自動的に装置全体がライン方向に走行し、溶接線と砥石位置とを±1mmの精度で一致させることができる。さらに、研削位置で溶接線がラインと直角方向からズレた場合でも、砥石が研削中にライン方向に移動しながら幅方向に横行可能である。同厚あるいは異厚研削



(b) Cutting profile by new type

Fig. 9 Blade configuration of notcher

に応じてモードを選択し、研削時間の短縮を図っている。

(2) ノッチャー

レーザ溶接の継手部は、溶接開始、終了の板端部において不良部が発生しやすく、鋼種によってはそのまま冷間圧延すると端部から破断するおそれがある。両端部を除去することにより、安定した圧延ができる。この切捨て量は歩留りの点から、できるだけ小さいほうがよいが、従来のノッチャーはおもに板幅違いの溶接部の通板性を良くする目的で使われており、この場合は板幅差の最大量を短時間で切断するため大きな刃を使わざるを得ない。そこで、両者を満足する刃形状として Fig. 9 に示す刃を採用した。

4 操業状況

4.1 レーザ発振器の安定性

当溶接機は1回/月のライン停止を除いて発振器を連続運転している。稼動以来、安定した出力が維持でき、良好な溶接が得られている。発振器出力の発振パターンは、溶接待機中は低出力レベルで保持し、溶接開始直前に定格出力を出すようにしている。この方法により、発振器内の光学系の熱的安定状態が維持でき、平均1回/15分の溶接ピッチで操業を行っている。

4.2 光学伝送系の安定性

高出力のレーザービームで懸念されるのは光学系の寿命であり、とくに集光系に使用している加工レンズの耐光強度であった。しかし、レンズの冷却強化、被溶接材からのスパッタ付着防止、およびウィンドーの熱変形によるエネルギー密度集中化を防ぐことにより、長期使用に耐えることがわかった。さらに、レンズの表面状態、加工位置でのエネルギー密度分布を監視することにより、ウィンドーおよび加工レンズの寿命とを管理することが可能である。光学系に起因する光軸ズレは発生しておらず、安定な溶接を行っている。

4.3 溶接特性

代表的な材料について溶接評価を行った。溶接条件は、出力10kW、ギャップ量0.2~0.3mm、溶接速度3~3.5m/minでワイヤー

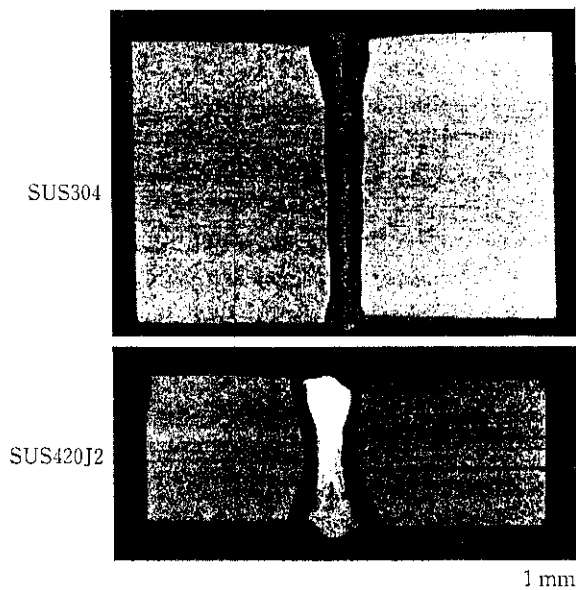


Photo 2 Cross-section of welded joint

を使用した。溶接部断面を **Photo 2** に示す。いずれの場合も十分な溶込みと、狭いビード幅が得られており、溶接強度の評価指数の一つである反復曲げ回数も必要回数を十分達成している。

4.4 生産能率の向上

従来の溶接機と比べ溶接のサイクルタイムが短縮でき、生産能率が向上した。**Fig. 10** に稼働後の生産性 (t/h) の変化を示す。メカニカルデスケーリングの効果とあわせて、従来より約15~20%程度生産性が向上した。

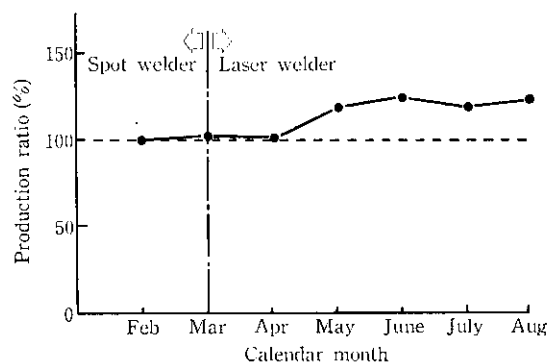


Fig. 10 Start-up performance of monthly production

5 結 言

10kW レーザ溶接機をステンレス専用ラインに導入するにあたり、高出力溶接の安定操作を実現するための設備の特徴を述べた。

高出力溶接に際してのおもな課題は

- (1) 10kW 発振出力の長期安定化
- (2) 光学系部品の安定化と長寿命化
- (3) レーザビームの長距離伝送によるビーム特性の安定化

などがあり、これらに対しては

- (1) 発振パターン制御
- (2) 光学伝送系内のエアー最適吹込み方式、最適冷却方式の採用
- (3) 出力ウィンドウの性状監視

により可能となった。

製鉄所におけるレーザ溶接機の歴史はまだ浅いが、当社は他社に先駆けて開発、実用化して現在に至り、今回を含めると全社で合計6基となり、操業上、設備管理上の技術を蓄積するに至った。今後は稼働以来の実績を踏まえて、レーザ溶接機をより完成度の高いものとするための技術開発を行い、次ステップのレーザ溶接機につなげていく所存である。

おわりに、当溶接機の建設にあたり、ご協力いただいた株式会社電元社製作所および株式会社東芝の関係各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 河合義人, 相原正樹, 石井功一, 田淵 衛, 佐々木弘明: 川崎製鉄技報, 16 (1984) 1, 53
- 2) 小野弘路, 長坂省治, 藤井 守, 多鹿 洋, 田中 茂, 佐々木弘明: 川崎製鉄技報, 14 (1981) 2, 173