

ビーム回転光学系を用いた レーザーによる金属加工法の研究

名古屋大学 工学部 材料プロセス工学科

講師 畚名宗春

(平成2年度研究開発助成 AF-90003)

1. 研究の背景

1970年代のレーザー応用技術としてのレーザー加工の研究開発が米国、英国、ドイツ、日本で急速に進み、すでに電子・電気産業、自動車産業、鉄鋼業、機械産業を中心に生産ラインに数多く導入されている。その主な用途は切断、穴明けであり、溶接や表面加工への応用も進みつつある。

レーザー加工機はそれぞれ特性が異なるばかりでなく、多種類の加工を1台のレーザー装置で行うことは容易ではない。

著者は、炭酸ガスレーザー加工機の加工光学系を工夫することにより、よりレーザー加工の特性を高めるとともに、多種類の加工にも利用できるようにするため、ビーム回転光学系の試作とその応用について研究を進めている。すなわち、すでに球面鏡を用いた2ビーム交差回転光学系を開発し、その特性を調べるとともに¹⁾²⁾、その応用として、鋼の焼入れ³⁾、ステライト材のレーザー肉盛⁴⁾、アーク溶接断手の疲労強度改善⁵⁾、切削工具チップのレーザー肉盛⁶⁾等の研究に応用してきた。

2. 研究の目標

本研究ではさらに上述の装置を根本的に改良し、回転数、集光性、ビームの可動性、ビーム分割の点で改良を加え、一層、工業的に応用できるように工夫をこらした。すなわち、図1に示すようにプリズムミラーでオリジナルビーム(発振器からでた1本のレーザービーム)を2本あるいは4本に水平に分割し、これを放物面鏡で集光し、被加工物に照射する。

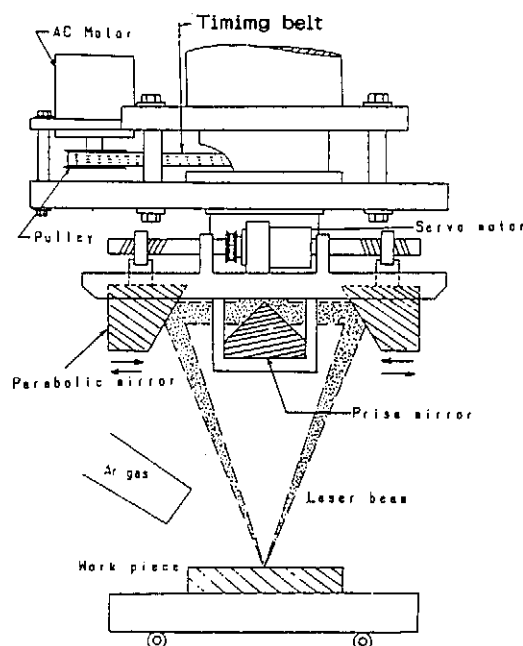


図1 試作したビーム回転光学系の模式図

この放物面鏡は小型モータで移動できる。これらの光学系はACモータで高速に最大回転数1500rpmまで回転できるように設計・試作することを目標とした。分割された後もそれぞれのビームは高エネルギー密度であるため、多点の熱源が得られ、これを回転すると材料は高速繰り返しの熱サイクルを受けることになり、加熱・溶融-冷却が従来の熱源に比べて、数倍速く起こる。その結果、材料は均質化、微細化、非晶質化されることが期待される。

本研究では、このような装置が実際の材料加工

においても十分組織制御に有用であるか確認するため、鋳造アルミニウム合金 (Al-Si系) の表面硬化処理として、鉄粉およびニッケル粉を用いたレーザ合金化処理を試み、高速回転光学系による材料の急熱・急冷処理が均質な合金層 (表面処理層) を得るのに有効であるか検討した。

3. 研究成果の概要

3.1 ビーム回転光学系の試作

レーザ加工中に一つまたは2対のレーザビーム

を往復運動および回転運動させることにより、エネルギー分布を加工目的に応じて変化できれば、複雑かつ高品質の製品を生産する技術手段として有用である。本研究では2kWのCO₂レーザ発振器より発振されたオリジナルビームの光軸の中心に図2に示すビーム分割用のプリズムミラー (2面鏡および4面鏡をともに製作) を図3に示すように配置し、垂直方向から入射したレーザビームを水平方向に分割した。

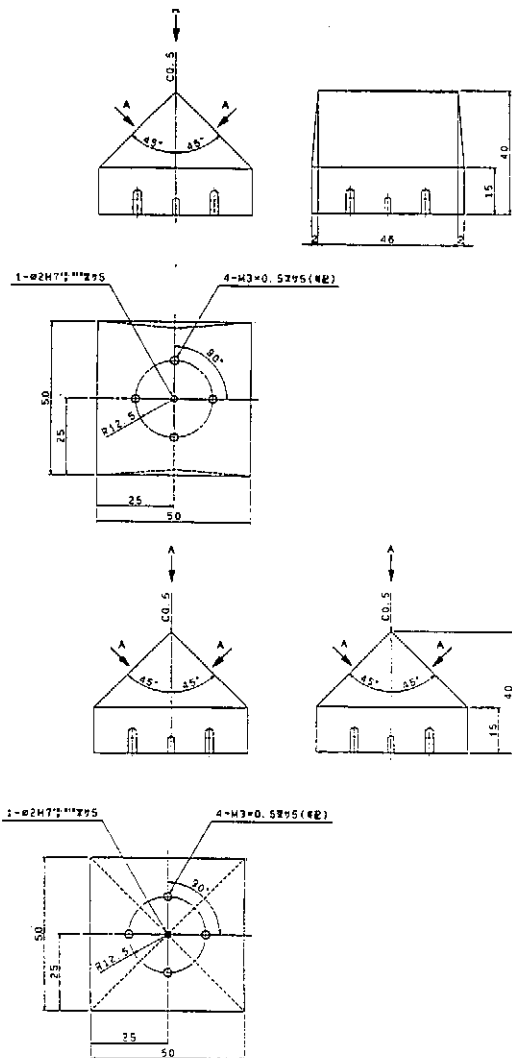


図2 ビーム分割用2面および4面プリズムミラー

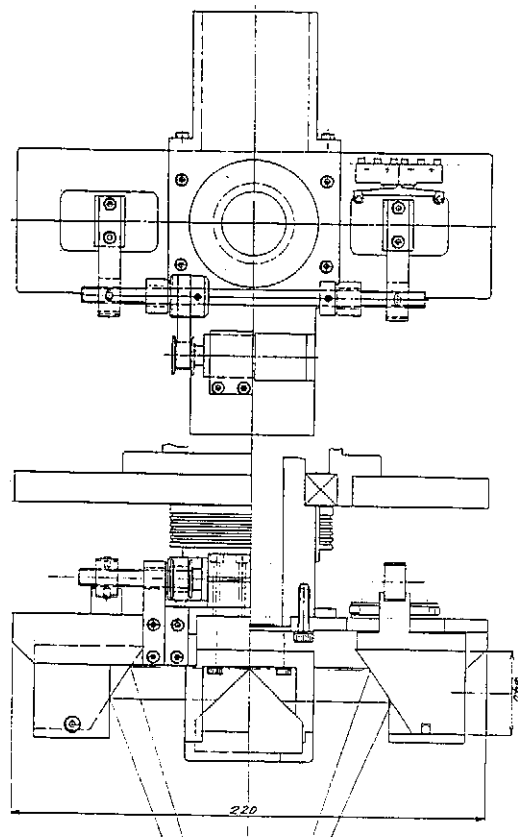


図3 ビーム回転光学系でのビーム行路

図4に示すビーム集光用放物面鏡 (銅製モリブデンコート材) をボールギヤシャフトをガイドとするテーブルに付け、サーボモータでタイミングベルトなどの駆動伝達系を介してボールギヤシャフトを回転することにより1対の放物面鏡を機械的方法により自動的直線往復運動として駆動させた。これらの光学系をACモータで高速回転させ

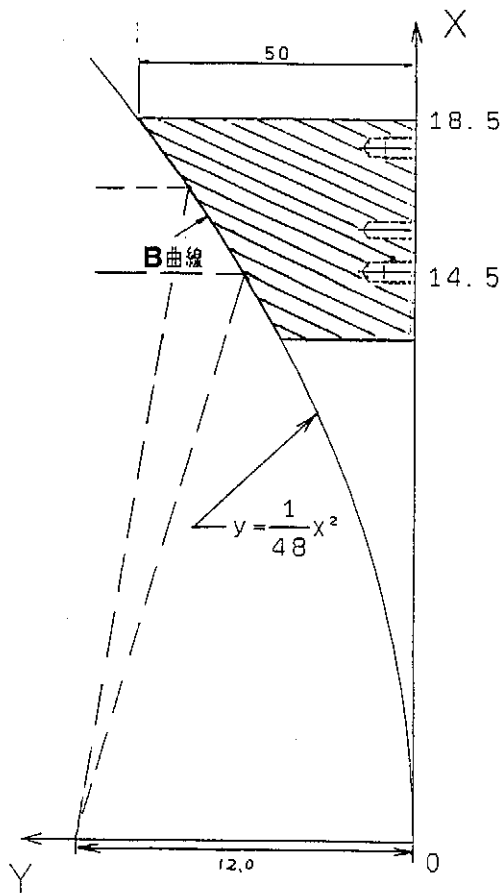


図4 集光用法物面鏡の形状

た。サーボモータへの通電は図5に示す接点方式で行い、5枚のディスクをもつデルリン（銅製金コート材）へ直流の2端子を当てて通電した。

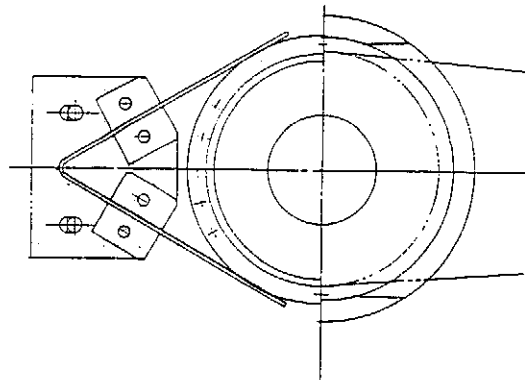


図5 サーボモータへの通電用ディスク接点

1枚のデルリンに明けた穴をフォトマイクロセンサで検出し回転数を測定・表示できるようにした。また、放物面鏡の曲率は

$$y = 1/48x^2$$

で示され、その焦点距離は、12mmである。二つの放物面鏡は対向しており、y軸上の焦点の間隔を0mmから20mmの範囲で移動できるようにした。また、この移動速度は20mm/分である。

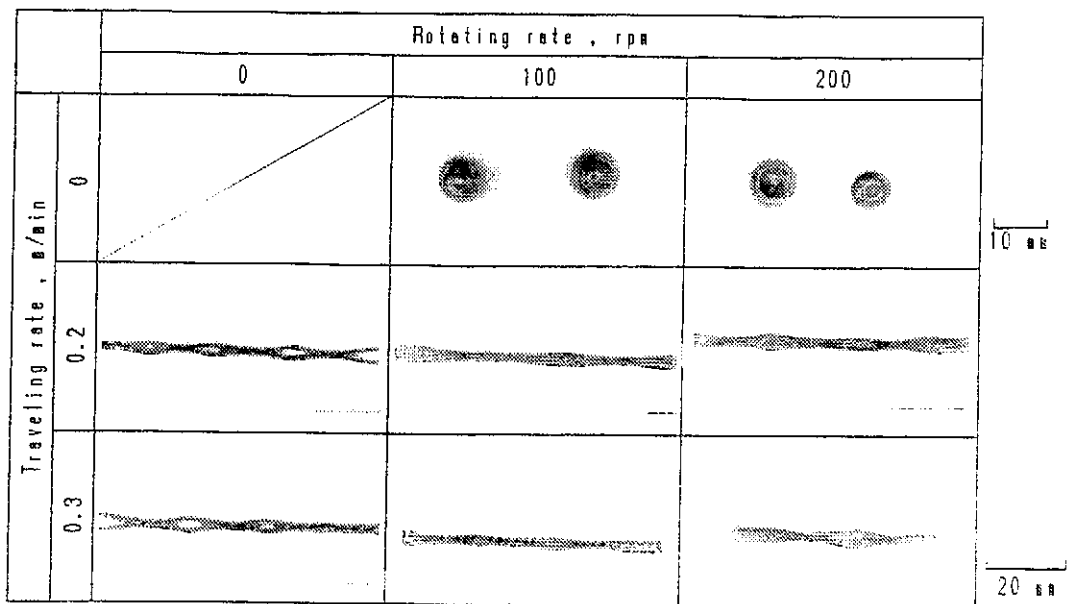


図6 溶接加工中にビーム間隔を変動した時の溶融パターン

2ビームを用いたビーム回転光学系のビーム駆動状況と金属加熱・溶融パターンを図6に示す。2ビームによる二つの点熱源は100rpmおよび200rpmで回転すると円形の熱源となる。二つの放物面鏡の間隔をサーボモータで変動させることにより円の径が変わる。レーザ加工ヘッドを0.2および0.3m/minと変動させるとビーム回転がない時には図中に示すように制御したままのひし形のパターンを画く。よって、レーザ切断時や溶接時の加工幅を任意にコントロールすることができる。ビームを高速で回転すれば、図に示すように加工幅を同様に変動させることができた。

また、アクリルブロックにこれら回転ビームを照射したときのバーンパターンを図7および8に示す。

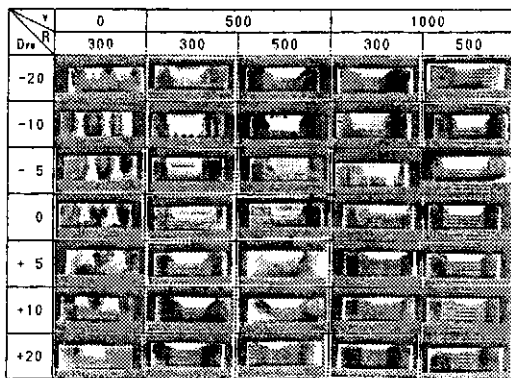


図7 回転ビームのアクリルへのバーンパターン

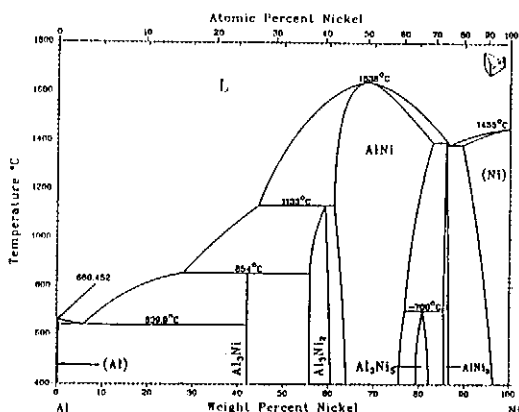


図8 Al-Ni2元系平衡状態図

ここで、 v は走行速度 (mm/min)、 R は回転速度 (rpm)、 D_{ps} は試験片表面からビーム交差点までの距離 (=焦点はずし距離、mm) である。 $V=0$ のとき、すなわち、回転しないときはビームの交差状況および交差点がよく分かる。それを走行させるとルート部にスパイクが現われ、その間隔が走行速度に依存していることも分かる。

3.2 アルミ合金のレーザ肉盛

そこで、試作開発したこの光学系を用いて、レーザ肉盛が困難とされるアルミ鋳造合金 (Al-Si系) のレーザ肉盛実験を試みた。近年、車両の軽量化のため、多くのアルミニウム合金が使用されるようになってきた。しかし、材料が軟らかいため、表面が摩耗しやすい。ここではニッケルおよび鉄を合金化することにより、図8に示すように、 Al_3Ni または Al_3Ni_2 の金属間化合物を表面層につくり、母材硬さの5ないし8倍の硬さを得て、耐磨耗性を改善することを目的として行った。3種類のアルミニウム鋳造合金 (Al-7%Si、Al-12%Si、Al-19%Si、 $50 \times 33 \times 12$ mm) 表面にニッケル粉末と鉄粉を塗布した後、2kW炭酸ガスレーザ装置を用いて、レーザ出力を1.7kW、走行速度を0.2および0.3m/min、アルゴンシールドでビーム回転速度を300、500、1000RPMで合金化した。図9はそのビード外観を示す。

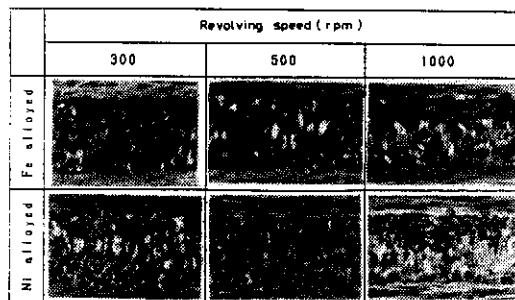


図9 回転ビーム装置を用いたレーザ肉盛部のビード外観

回転数の増加により滑らかなビードが得られた。得られた合金層のピッカース硬さ分布を図10および11に示す。

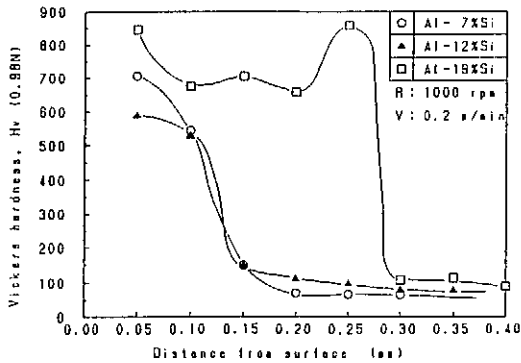


図10 レーザ合金層の固さ分布 (鉄添加)

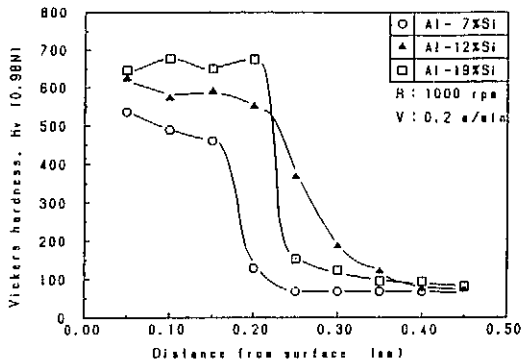


図11 レーザ合金層の固さ分布 (ニッケル添加)

母材の硬さが約90Hvであるのに対し、合金層では600から800Hvの高い硬さを得ることができた。とくに、母材が19%のSiを含有するものがより高い硬さを示した。この合金層の耐摩耗性を評価するため、図12に示す大越式摩耗試験を実施した。

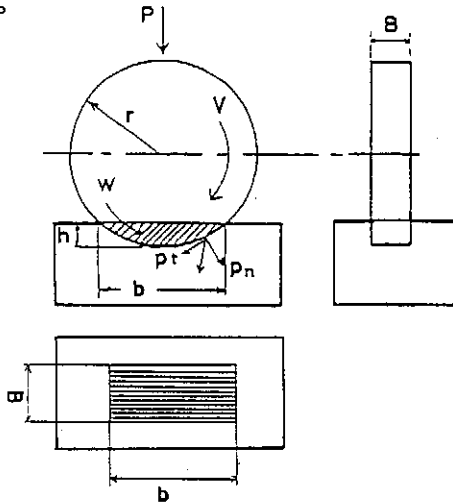


図12 大越式摩耗試験の概要

SKH3 鋼焼入れ材を相手材として、荷重62N、すべり距離100m、すべり速度0.25m/sの試験条件で試し、その時の比摩耗量を測定することにより耐摩耗性を評価した。

比摩耗量 W_s は次の式で求めた。

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8r \cdot p_0 \cdot l_0}$$

ここで、 B は相手材のディスク幅、 b は測定した摩耗部の長さ、 r は相手材のディスク半径、 P_0 は負荷荷重、 l_0 は摩耗距離 (ここでは100m) である。

摩耗試験の結果を図13および14に示す。

鋳造のままのアルミ合金の比摩耗量はいずれも大きいですが、ニッケルをレーザ合金化したものは母材の6分の1あるいは8分の1に比摩耗量が低下した。また、鉄をレーザ合金化したものは8分の1から20分の1にまで比摩耗量が低下した。レーザ合金化がこのような軟らかい合金の耐摩耗性向上に非常に有効であることが確認できた。このレーザ合金化をより均一に行うため、試作したビーム回転光学系が有用であることも同時に確認できた。

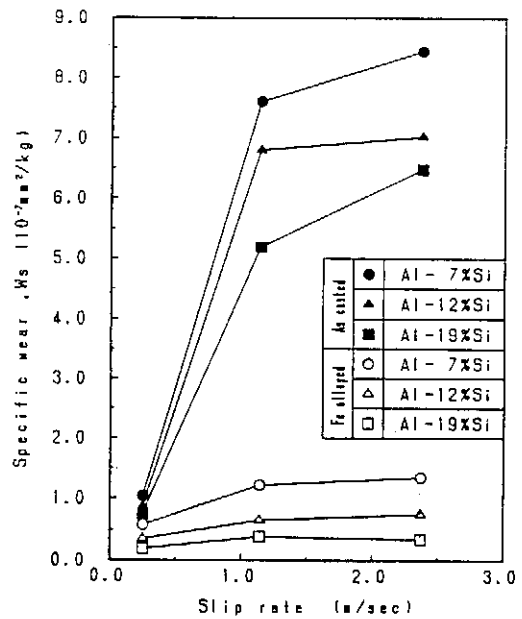


図13 摩耗実験結果 (鉄添加)

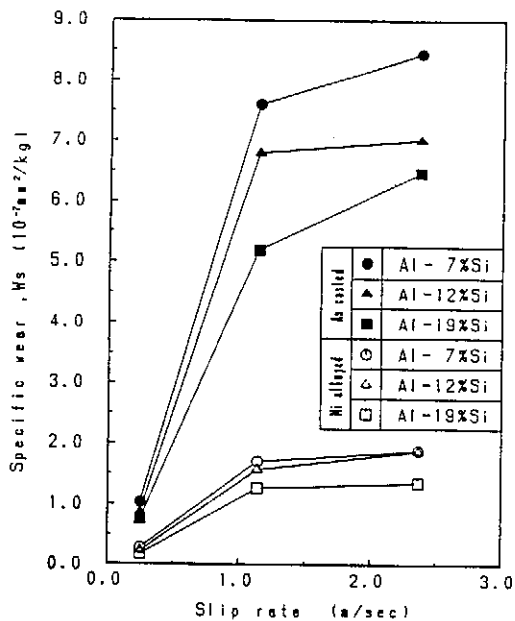


図14 摩耗試験結果 (ニッケル添加)

参考文献

- 1) I. Masumoto, M. Kutsuna : Study on Intersect and Rotate Optical System of Divided Laser Beam, Proc. of 2nd JOM, (1984 - 4), Helsing (Denmark), p.91 - 97
- 2) I. Masumoto, M. Kutsuna : Entwicklung und Anwendung der Kreuzungs - Rotations - Optik für geteilten Laserstrahl, ZIS Mitteilungen vol.27 (1985 - 3), P.239 - 254
- 3) 益本功、沓名宗春、宮本典孝 : 金属粉末を用いたレーザ肉盛溶接に関する研究 (第2報)、溶

接学会全国大会講演概要、34集 p.205

- 4) 益本功、沓名宗春、長谷川正義 : アルミニウム合金 A5083P - O 溶接継手の疲れ強さに及ぼす余盛止端部レーザ処理の効果、溶接学会論文集、6巻 (1988 - 3), p.420 - 425
- 5) I. Masumoto, M. Kutsuna : Improvement of Fatigue Strength of Welded Joints by Laser, Proc. of 4th CISFFEL, Cannes, (1988 - 9) P.26 - 30
- 6) I. Masumoto, M. Kutsuna, H. Iwata, T. Kawai : Study on Hardfacing of Cutting Tips with Laser Beam, Proc. Int. Conf. on Quality and Reliability in Welding, Hanzhou (China), (1984 - 9), p. A - 20 - 1

5. 発表論文

- 1) Muneharu Kutsuna and Takeji Arai : Development of Beam Rotating Device for CO₂ Laser Using Two Mobile Parabolic Mirrors, Proc. of LAMP'92, Nagaoka, (1992 - 6), p.679 - 684
- 2) Muneharu Kutsuna and Takeji Arai : Development of Beam Rotating Device for CO₂ Laser Using Two Mobile Parabolic Mirrors, IIW Doc. No. IV - 588 - 92, Madrid, (1992 - 9), Distributed