2NQ 急 熱 急 冷 処 理 を 受 け た 炭 素 鋼 レ ー ザ 溶 接 熱 影 響 部 の 組 繊 変 化

名 古 屋 大 学	工 学 部	沓 名	宗 春
同	大 学 院	菊 池	淳 雄

Microstructural Change of HAZ Heated and Cooled Rapidly in Laser Welding of Carbon Steels

by Muneharu KUTSUNA and Atsuo KIKUCHI

1)緒言

レーザーを用いて鋼の表面を処理すると、アーク溶接やTIG溶接の時に比べて非常に速い加熱冷却の熱サイクル受 け、このような場合、通常とは異なる興味深い現象が起こることが知られており、金属組織学的研究や数学的考察が数 多くされてきた¹⁾²⁾。しかし、炭素含有量、加熱、冷却速度の違いによる系統的な研究はされていない。そこで、本研 究ではレーザーを用いて炭素鋼の表面を溶融した時に得られる熱サイクルを熱電対を用いて実測し、瞬間点熱源及び移 動点熱源近似式を用いて比較検討するとともに、この数式を使って、HAZの顕微鏡組織と加熱、急冷速度との関連を 調べ、急熱急冷における固相変態現象を、炭素含有量の違いから系統的に調べた。

2) 実験方法

Table 1のように炭素量の異なる8種の炭素鋼を、CO2レーザ及びパルスYAGレーザを用いて表面溶融した。Table 2のようにレーザ出力と焦点はずし距離を一定にして移動速度を変化させ加熱冷却条件を変えた。このレーザ溶接部の HAZの組織をカラーエッチングにより観察した。また、この熱サイクルを、直径0.1mmのPt-PtRdの熱電対とデジタル 波形メモリー・レコーダを用いて測定した。CO2レーザの場合は移動点熱源近似式を、パルスYAGレーザの場合は、 ある位置における前後10パルスの影響を考慮した瞬間点熱源近似式を用いて数式化した。これらの式をもとに、HAZ のパーライト粒からフェライト相への炭素の拡散距離を計算し、EPMAによる炭素分布曲線から得られる拡散距離と 比較した。

Table 1 Chemical composition of carbon steels used unit wt %

Table 2

(1)

Laser treatment condition

		-																
	с	Si	Mn	Р	s	Cu	NI	Сг	A I	N	Standard	Type of	code of	Laser power	Travel speed	Des	Pulse width	Pulse frequency
A	0.001	0.330	0.80	0.004	0.006	-	-	-	0.025	0.0006	-	iaser	condition	(¥)	(a/ain)	(00)	(=s)	(pps)
в	0.014	0.294	0.80	0.007	0.007	-	-	-	0.035	0.0013	-		C 1		6			
с	0.072	0.325	0.79	0.004	0.006	-	-	-	0.023	0.0008	-	c	C 2		3		_	_
D	0.164	0.313	0.80	0.008	0.008	-	-	-	0.028	0.0014	-	0	C 4	1800	0.5	Ů		_
E	0.23	0.23	0.45	0.022	0.017	0.09	0.05	0.15	-	-	\$25C		C 5		0.2			
F	0.36	0.25	0.76	0.024	0.017	0.01	0.02	0.13	-	-	535C	Y	Y 1		2.52		•	7.0
G	0.44	0.23	0.72	0.023	0.013	-	-	-	-	-	\$45C	A G	Y 2 Y 3	300	0.9	+ 3	3	10
н	0.52	0.21	0.71	0.023	0.016	0.01	0.02	0.10	-	-	\$55C		¥4		0.36			

3)実験結果

炭素含有量0.23wt%の鋼Eのレーザ溶接熱サイクル測定結果及び近似式より求めた計算値をFig.1、及び2に示す。用い た近似式を次に示す。

CO2 laser: $T(r, t) = \mu P/(4\pi \alpha tC\rho v) \cdot exp(-r^2/(4\alpha t)-bt)$

YAG laser: T(r,t)= $\Sigma \mu$ (P/f)/(ρ C)/(2SQR($\pi \alpha$ (t-j/f)))³

 $j = \emptyset$ $\cdot \exp((-r^2 + (v(j-10)/f)^2)/4\alpha (t-j/f))) - b(t-j/f))$ (2)

r:熱源からの距離,t:時間,μ:吸収率,P:出力,α:熱拡散係数,ρ:密度,C:比熱,v:移動速度,f:パルス周期 炭素含有量が0.23wt%の鋼EにおけるHAZの顕微鏡組織は、YAGレーザーを用いた場合、どの条件も加熱速度5×1 0^{5*} C/s以上、冷却速度4×10^{4*} C/s以上と速く、HAZの溶融線付近においても旧パーライト粒は形を崩さず、元の形状 のままマルテンサイトの粒に変わっている(Fig.3(a))。このことから、この場合パーライト粒からフェライト粒への炭 素の拡散がほとんどないことがわかる。CO2レーザを用いた場合、加熱速度、冷却速度が速い条件下(例えば、条件01 でそれぞれ4.5×10⁵、1.8×10⁴ C/s)では、溶融線付近の旧パーライト粒はYAGレーザーのときと同じくらいほとんど 崩れなかったが、加熱速度、冷却速度が遅くなるにつれて(例えば、条件C5でそれぞれ3×10³、4×10² C/s)、溶融線付

溶接学会全国大会講演概要 第46集 ('90-4)

20

近の旧パーライト粒はぼやけが大きくなり、隣の粒と接するくらいになった(Fig.3(b))。また、HAZと母材の境界では、急熱急冷されると(C1,C2)、A1点以上に加熱される時間が少なく、一つのパーライト粒内でマルテンサイトに変態するところとパーライトのまま残るところがきれいに分かれるのが観察され、さらにマルテンサイトになった領域で旧パーライトを構成していたフェライトとセメンタイトの層状組織の痕跡が観察された(Fig.4)。 炭素含有量が0.02%以上ある鋼(C,D,E,F,G,H)ではパーライトが存在するため、鋼Eと同様な組織変化が観察されたが、



Laser condition : P=1.8kW, v=6a/ain, Dr=0aa Ar shielding, lens f=125aa

Laser condition : P=300W, v=0.36/min, Dro=+3mm pulse width=3ms, pulse frequency=70pps Ar shielding, lens f=80mm

炭素含有量が0.02%以下の鋼(A,B)では、パーライト粒がないためこのようなことは観察されなかった。これらの材料は、 加熱速度、冷却速度が速い時(条件Cl)はHAZのフェライト粒の細粒化も粗粒化も起こらなく、加熱速度、冷却速度が 遅くなると(C2,C3,C4)フェライト粒が細かくなった。ただし、パルスYAGレーザーを用いた場合は加熱速度、冷却速 度の速さによらず、フェライト粒の細粒化が起こった。(Fig.5)

HAZにおけるパーライト粒界の炭素拡散挙動を調べるため、パーライト粒が存在する鋼Eを用いて、各熱サイクル におけるHAZのパーライト粒からフェライト粒への炭素の拡散距離を式(1)、式(2)及び参考文献¹⁾の式を使って計算 した。そしてEPMAによる炭素分布曲線より、炭素の移行幅を測りこの炭素移動距離と計算値とを比較した。

Fig.6(CO2レーザ)では計算値と測定値が同じような傾向を示し、ほぼ一致していた。 Fig.6から溶融線から離れ るほど、また移動速度が速いほど炭素の拡散が著しく減少することがわかる。条件C5の場合でも溶融線でのカーボンの 拡散距離は 20μm以下と小さく、この値は熱影響のない母材のパーライト粒間の距離の約半分に相当し、条件C5で旧パ ーライト粒どうしが接するくらいになるという観察結果と一致している。



参考文献: 1) M.F.ASHBY etc.:Acta.metall.VOL.32,1984,p.1935 2) 益本他 :Proc. of 3rd Intn. Conf. on Welding,1986,P256

109