
RE,Ca 処理ラインパイプにおけるガスメタルアーク溶接特性

Gas Shielded Metal Arc Weldabilities of RE or Ca Treated Linepipes

松山 隼也(Junya Matsuyama) 志賀 厚(Atsushi Siga) 坪井 潤一郎(Jun-ichiro Tsuboi)

要旨：

最近問題になっているラインパイプの水素誘起割れ（HIC）破壊の対策として、当社では RE や Ca 処理した耐 HIC 鋼を開発した。ところが、RE 添加パイプの円周 CO₂ 溶接や Ca 添加ワイヤを用いた CO₂ 溶接ではアークが不安定になる報告されるので、筆者らは RE,Ca 処理ラインパイプにおけるガスメタルアーク溶接の安定化について検討し、以下の知見を得た。(1) 短絡回数、スパッタロスなどのアーク特性は、RE, Ca の原子濃度で統一的に評価しうる。(2) RE, Ca 酸化物の低い仕事関数と CO₂ の熱的ピンチ効果に基づく強いアーク圧力によって溶滴移行が抑制され、アークが不安定になる。(3) シールドガスへの Ar 添加はアーク圧力低減に有効である。(4) 溶接電流域に応じたワイヤの選択が必要である。

Synopsis：

To stabilize the arc in gas shielded metal arc welding of rare earths (RE) -or calcium (Ca) -treated linepipes, an investigation has been carried out concerning the effects or RE, Ca, Ar, and Ti on arcing phenomena, weld bead appearances, and spattering. The short-circuit transfer frequency decreased and the spatter losses increased with increasing RE or Ca content in plates. The behaviour of arc weldabilities can be assessed in terms of RE and Ca atomic concentration. A repelled transfer of pendant metal drops which causes the arc instability in CO₂ welding of RE- or Ca-treated linepipes can be interpreted as being based on the stronger arc pressure attributed to the lower thermionic work function of RE- or Ca-oxides and the significant thermal pinch effect of CO₂ shield gas on arc columns. The shielding by CO₂ -Ar mixed gas provides the practical solution for arc stabilizing from an aspect of decreasing the arc pressure. The welding wire with or without Ti affects beneficially the arc in the globular and the short-circuit transfer welding, respectively. The optimum wire selection corresponding to welding conditions is concluded to be a key issue.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

RE, Ca 処理ラインパイプにおけるガスメタルアーク溶接特性

Gas Shielded Metal Arc Weldabilities of RE or Ca Treated Linepipes

松 山 隼 也*
Junya Matsuyama

志 賀 厚*
Atsushi Shiga

坪 井 潤一郎**
Jun-ichiro Tsuboi

Synopsis:

To stabilize the arc in gas shielded metal arc welding of rare earths(RE)- or calcium(Ca)-treated linepipes, an investigation has been carried out concerning the effects of RE, Ca, Ar, and Ti on arcing phenomena, weld bead appearances, and spattering.

The short-circuit transfer frequency decreased and the spatter losses increased with increasing RE or Ca content in plates. The behaviour of arc weldabilities can be assessed in terms of RE and Ca atomic concentration. A repelled transfer of pendant metal drops which causes the arc instability in CO₂ welding of RE- or Ca-treated linepipes can be interpreted as being based on the stronger arc pressure attributed to the lower thermionic work function of RE- or Ca-oxides and the significant thermal pinch effect of CO₂ shield gas on arc columns. The shielding by CO₂-Ar mixed gas provides the practical solution for arc stabilizing from an aspect of decreasing the arc pressure. The welding wire with or without Ti affects beneficially the arc in the globular and the short-circuit transfer welding, respectively. The optimum wire selection corresponding to welding conditions is concluded to be a key issue.

1. ま え が き

近年、湿潤硫化水素を含む環境下で使用されるラインパイプの水素誘起われ(HIC)破壊が問題となっている。これに対し当社では、HICの原因となる硫化介在物を希土類元素(RE)やCaによって形態処理する耐HICラインパイプ用鋼を開発した¹⁾。

一方、鋼板中のREがアーク特性に影響することがラインパイプの円周CO₂溶接で二、三報告^{2,3)}されている。当社でも0.06%までのREを含むラインパイプ用鋼板でCO₂短絡溶接試験を行い約0.02%以上のREを含む場合に不連続ビードが発生するという結果⁴⁾を得た。

鋼板中のCaによるアーク特性への影響の報告はないが、ワイヤ中に添加したCaについてはアークの安定性に及ぼす報告⁵⁾があり、鋼板中Caに基づくCO₂溶接時のアーク不安定も十分予想された。

筆者らはCO₂アーク特性に対する鋼板中のREとCaの影響について総合的な検討を試み、それらの影響が同一機構に基づくことを明らかにして一部を既に報告⁶⁾した。本報では耐HICラインパイプのガスメタルアーク溶接時のアーク安定化法をシールドガスおよびワイヤ組成面から紹介する。

2. 供試材と実験方法

ビード外観、短絡回数、スパッタロスなどのCO₂

* 技術研究所溶接研究室主任研究員
〔昭和55年9月30日原稿受付〕

** 技術研究所溶接研究室室長・工博

溶接アーク諸特性に及ぼす鋼板中の RE, Ca の影響を調べるために、シールドガスの Ar 混合率を変え、Ti 有無の 2 種類の溶接ワイヤを用いて Table 1 に示すラインパイプ用鋼板を直流逆極性で平板溶接した。

本来のパイプ円周溶接は全姿勢で行われるが、本実験では現象を明確にするために下向き姿勢を採用し、溶接条件はパイプライン敷設時のものから選定した (Table 2 参照)。

電流域は溶滴移行形態によって 2 分される。“短絡移行”の低電流域ではワイヤ先端の懸垂溶滴が溶接プールとの接触によって高頻度に移行するため、良好なビード外観が得られ、“グローブラー移行”の高電流域では溶滴の移行挙動が粗くスパッタを伴うが、溶接能率が優れている。

Ti 無しワイヤ KC-45 と、Ti 入りワイヤ KC-50 はそれぞれ短絡移行、グローブラー移行用に開発されたものである。

CO₂ シールドガスに Ar を添加すると、高電流域の移行形態が“スプレー型”に変化する。

ラインパイプの円周溶接では、一般にルート (初

層) およびキャップパス (仕上げ層) で低電流が、ホット (第 2 層) およびフィラーパス (中間層) で高電流が採用される。Table 2 の実験 I, II ではそれぞれ短絡移行特性およびスパッタロス発生状況を主に検討した。

電圧は各電流域に対する適正電圧範囲内で変化させ、アーク現象は電磁オシログラフで得た電圧波形 (チャート速度 1m/s) とアークの高速度写真 (2000 コマ/s, 背光 10kW-Xe 光源) によって観察した。

RE, Ca による CO₂ 溶接時のアーク不安定は溶滴移行の乱れに対応すると考えられるので、実験 I では電圧波形から求まる短絡回数 n (1/s), 平均短絡時間 T_S (ms), および平均アーク時間 T_A (ms) を移行特性評価の指標とした。実験 II ではスパッタロスを (ワイヤ溶融量 - 溶着量) × 100 / ワイヤ溶融量 (%) で評価した。

3. 短絡移行特性

短絡移行の安定性は短絡直前のワイヤ先端溶滴

Table 1 Materials used for welding

Materials		Chemical composition (%)										
		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	RE	Ca	Ti
Plate (15mm thick.)	RE, Ca-free	0.09	0.20	1.48	0.013	0.003	0.035	0.028	0.029	—	—	—
	RE treated	0.10	0.29	1.42	0.015	0.002	0.034	0.040	0.036	0.013	—	—
		0.10	0.29	1.43	0.015	0.002	0.033	0.040	0.036	0.021	—	—
		0.10	0.29	1.42	0.015	0.002	0.035	0.042	0.036	0.030	—	—
	Ca treated	0.10	0.27	1.50	0.015	0.002	0.038	0.032	0.038	—	0.0033	—
		0.10	0.32	1.54	0.016	0.002	0.035	0.030	0.027	—	0.0054	—
		0.10	0.27	1.53	0.016	0.003	0.036	0.033	0.038	—	0.0082	—
	KC-45	0.07	0.85	1.30	0.011	0.009	—	—	0.001	—	—	—
	KC-50	0.08	0.70	1.60	0.014	0.010	—	—	0.013	—	—	0.20

Table 2 Welding conditions used for experiments (DCRP)

Test	Shield gas flow rate (l/min)			Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min)	Wire extension (mm)	Metal transfer mode
	Mark	CO ₂	Ar					
I	A	20	0	100	14~24	20	20	Short circuit
	B	15	5					
II	C	10	10	300	26~34	60	20	Globular + Spray
	D	5	15					
	E	0	20					

量に著しく影響され、溶滴量は重力、電磁力、溶滴の表面張力、アーク圧力、アーク長など多くの因子によって変化する。

たとえばある特定の電流、材料、およびシールドガスのもとでは、適正な電圧（相対的なアーク長）により移行1回あたりの溶滴量が最小になり、毎秒あたりの短絡回数 n が最大となる。これは短絡移行溶接の最適状態を示しており、このような観点から n 値によってその安定性が評価される。

3・1 鋼板中のRE, Caの影響とシールドガスへのAr添加によるアーク安定化

短絡回数と電圧の関係（ n - V 曲線）に対する鋼板中のREの影響を、Ti入りワイヤKC-50を使用した場合についてFig. 1に示す。

n - V 曲線群において短絡回数はある電圧で最大（ n_p ）を示した。REが無い場合 CO_2 雰囲気での n は約18Vで n_p となり、18V以上ではアーク長が短絡の発生には過大なため、また以下ではワイヤが突込み現象を呈するため n は著しく低下した。

シールドガスへのAr添加によって n - V 曲線は低電圧側に移り、 n_p はAr混合率約50%まで混合率とともに漸増した。シールドガスが100%Arの場合は溶滴移行がスプレー化するため n_p は低下し、ビードは100%Arに固有の蛇行状態を示した。

Ar雰囲気では、 CO_2 雰囲気比しアークプラズマへの熱的ピンチ効果が小さいために、電位傾度は低い。これは同一アーク長に対する電圧がAr雰囲気において低いことを意味する。

この観点からすれば、Ar混合率によって $n = n_p$ となる電圧が異なっても、各電圧でのアーク長はほとんど変わらないと推定され、アークの高速度写真もそれをうかがわせた。

Ar添加による n_p の増加は以下に述べる熱的ピンチ効果に基づくアーク圧力の低下で説明し得る。

すなわち、 CO_2 雰囲気では強力な熱的ピンチ効果に基づいてアーク圧力が大となり、短絡とアークが交互する短絡溶接のアーク期間にワイヤ先端の溶滴は移行を抑制される。

これに対しArはアーク圧力を低減し、短絡に必要な最少径の溶滴を形成することによって安定な短絡移行をもたらすことが高速度写真で確かめ

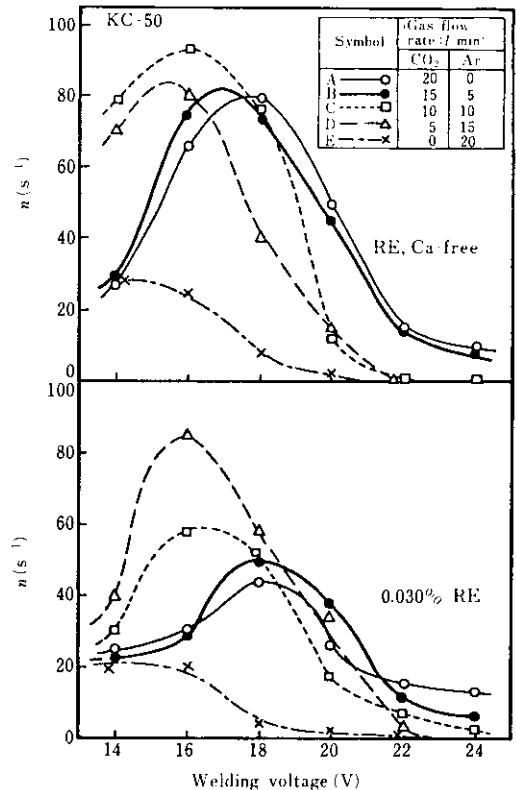


Fig. 1 Short-circuit transfer frequency vs. welding voltage, (n - V) curve for RE, Ca-free or RE bearing steel plate by the use of Ti bearing wire

られた。 CO_2 シールドガスへのAr添加が溶滴を微小にすることは他の研究⁷⁾においても認められている。

一方、0.030%RE鋼における CO_2 雰囲気での n_p は、RE無しの場合に比べ一層低下し、約75%のAr混合率でRE無しの n_p レベルに回復した。0.0082%Ca鋼においても同様の結果が得られた（Fig. 2 参照）。

n_p となる電圧でのアーク長はAr混合率によって変化しないであろうと前述したが、REまたはCa有無の比較においても明らかなアーク長の差は認められなかった。したがってこれは、REまたはCa処理鋼の CO_2 アーク溶接ではアーク圧力が著しく強いために n_p が低下したことを示唆している。

短絡移行の電圧波形をFig. 3に示す。波形の低部は短絡、高部はアークの期間である。

CO₂ 雰囲気での 0.021%RE 鋼では波形が不安定となり、0.030%RE 鋼でこの傾向が強まったが、CO₂-Ar 雰囲気では 0.030%RE 鋼においても波形は安定し、Ca 処理鋼も同様の傾向を示した。

これらの結果から RE または Ca による CO₂ 雰

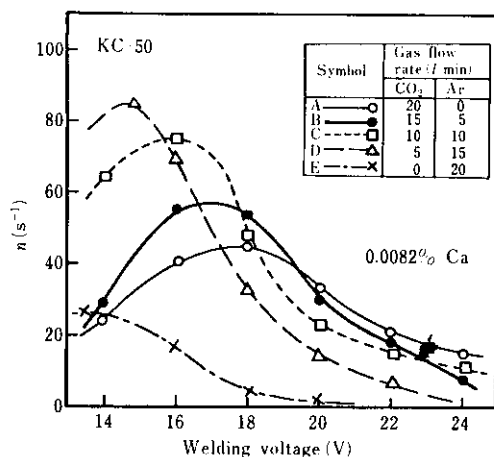


Fig. 2 Short-circuit transfer frequency vs. welding voltage, (n -V) curve for Ca bearing steel plate by the use of Ti bearing wire

囲気での短絡回数低下は、アーク期間の著しい延長に対応することが明らかであり、さらに溶滴移行の乱れに各周期の不規則さも関与すると推定される。

オシログラムから求めた平均アーク時間 T_A 、平均短絡時間 T_S と RE または Ca 量の関係を Fig. 4, 5 に示す。CO₂ 雰囲気の場合、約 0.015%RE あるいは 0.0040%Ca 以上で T_A が急増し、 T_S は微増したが、CO₂-Ar 雰囲気での T_A 、 T_S はほとんど変化しなかった。

延長されたアーク期間中、Photo. 1 に示すようにアークがワイヤ先端の溶滴下面を激しく移動し、強いアーク圧力によって移行を阻止された溶滴は揺動しつつ異常に成長した。この結果、短絡 1 回あたりに多量の溶鋼が溶着され、ビード外観はステップ状を呈した (Photo. 2 参照)。

75%Ar 雰囲気では 0.030%RE 鋼および 0.0080%Ca 鋼においてもステップ状ビードは防止され、Ar 添加はこのようにアーク圧力低減の面から耐 HIC ラインパイプ円周溶接時の作業性改善に有効である。

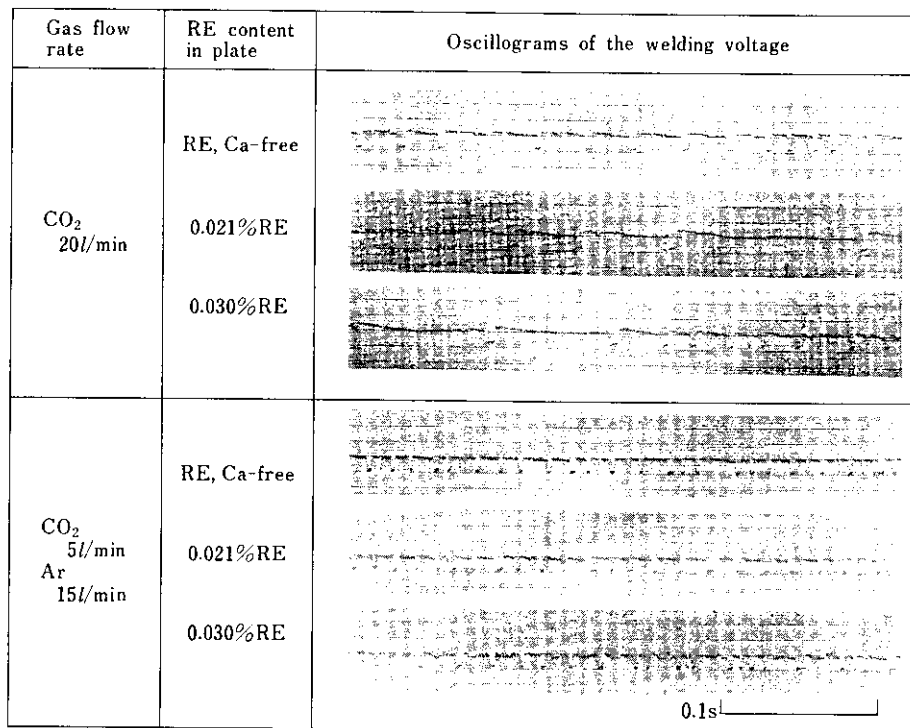


Fig. 3 Oscillograms of the welding voltage in the short-circuit welding

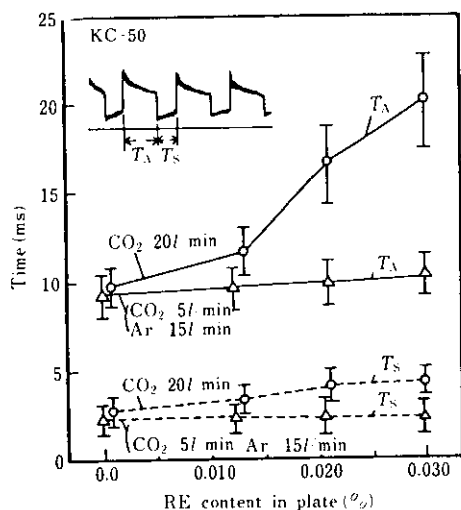


Fig. 4 Effect of RE content on the average time of short-circuit, T_S , and the average time of arc period, T_A

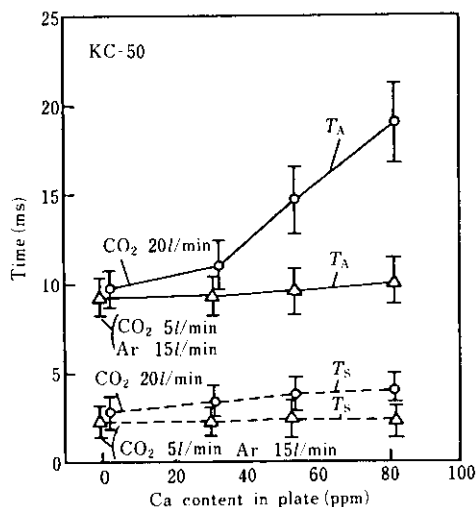


Fig. 5 Effect of Ca content on the average time of short-circuit, T_S , and the average time of arc period, T_A

3.2 ワイヤ中 Ti の影響

CO₂ 溶接ワイヤへの Ti 添加は溶接金属の靱性向上、スラグ増量によるビード表面円滑化のために行われる。しかし短絡移行条件下で使用されると短絡回数を減じる⁸⁾傾向がある。この原因として溶滴の粘性および表面張力の増大^{9,10)}、アーク



Photo. 1 Pendant metal drop at a wire tip during arcing period of short-circuit transfer welding on the plate contained 0.021%RE



Photo. 2 An example of the step-like bead in short-circuit transfer welding

プラズマ電位傾度の低下に基づくアーク長の増大¹¹⁾などが指摘されている。

RE あるいは Ca 処理ラインパイプの CO₂ 短絡溶接におけるワイヤ中 Ti の影響を調べるため、短絡溶接用に開発された Ti 無しワイヤ KC-45 を用いて 3・1 と同様の実験を行った。

Fig. 6, 7 に示す本実験の短絡回数は、Ti 入りワイヤ使用時 (Fig. 1, 2) に比べて全般に多く、Ti による上述の影響が確認された。Ar は本結果においても短絡移行安定化に好ましく作用し、RE, Ca 処理鋼の短絡回数はワイヤ KC-45 の方が低い Ar 混合率で回復した。

Fig. 1, 2, 6, 7 での $n-V$ 曲線群における n_P の軌跡は Fig. 8 となり、RE, Ca, Ar および Ti の影響が明らかに示される。

n_P とステップ状ビードの相関をみると (Fig. 9 参照), ステップ状ビード発生の際の臨界 n_P は約 60/s とみなされる。ただし n_P はビード長約 20cm における短絡回数の平均値であり、ステップ発生時の瞬間的短絡回数は電圧波形 (Fig. 3 参照), ビード外観 (Photo. 2 参照) からうかがえるとおり上記の臨界値より低い。

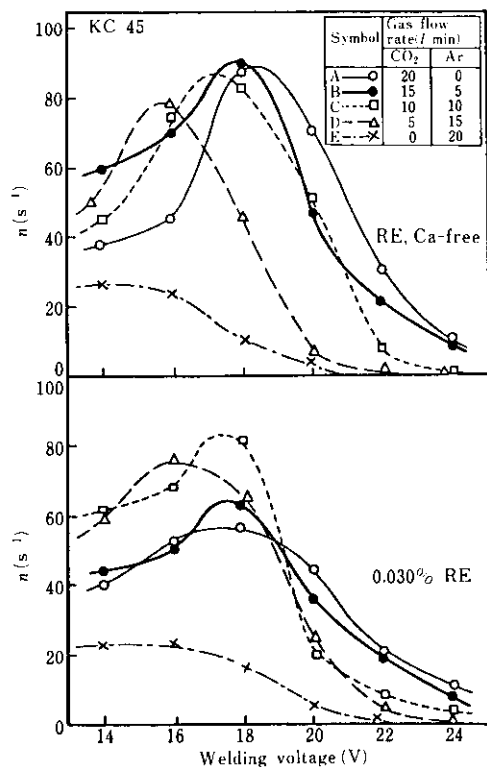


Fig. 6 Short-circuit transfer frequency vs. welding voltage, (n -V) curve for RE, Ca-free or RE bearing steel plate by the use of Ti-free wire

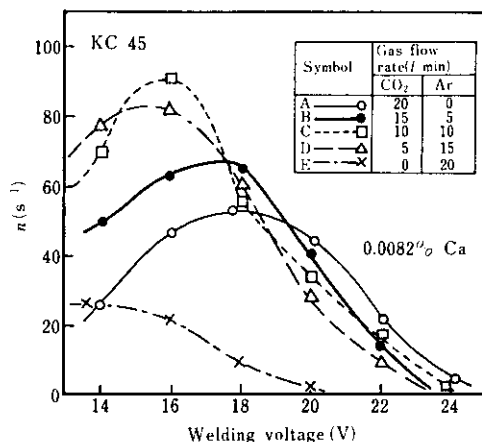


Fig. 7 Short-circuit transfer frequency vs. welding voltage, (n -V) curve for Ca bearing steel plate by the use of Ti-free wire

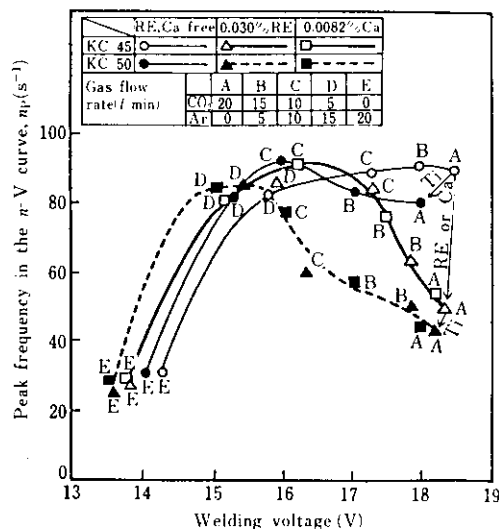


Fig. 8 Envelope curves of the peak frequency, n_p , in each (n -V) curve

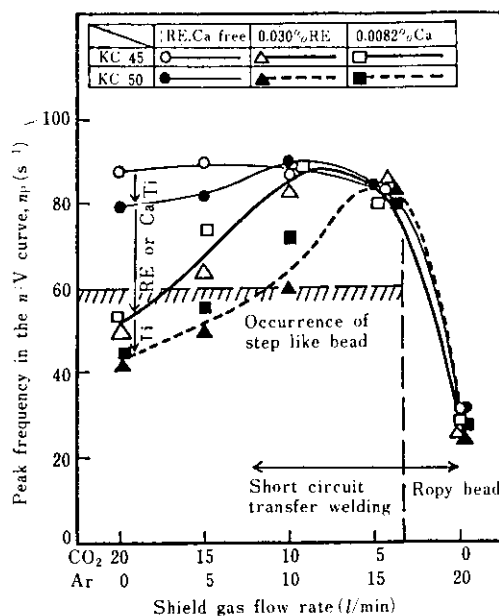


Fig. 9 Effects of Ar mixing ratio in shielding gas on the peak frequency, n_p , in each (n -V) curve

Fig. 9 で 0.030% RE 鋼と 0.0082% Ca 鋼の短絡移行特性が類似したので、RE, Ca の原子量を 140, 40 とし、Fe との 2 元系を仮定して算出した鋼板中 RE または Ca の原子濃度と n_p の相関を求め

た (Fig. 10 参照)。

n_p に対する RE および Ca の影響はそれらの原子濃度を用いることにより、統一的に評価しうることが明らかとなった。

KC-45 ワイヤを使用した場合に、ステップ状ビードの防止可能限界は大幅に拡がり、Ti 無しワイヤが耐 HIC ラインパイプの短絡移行溶接に有効な

ことがわかる。

たとえば KC-50 使用時の 100%CO₂、25%Ar、および 50%Ar 雰囲気におけるおおよそのステップ状ビード防止限界は、それぞれ 7×10^{-3} 、 8×10^{-3} および 12×10^{-3} 原子濃度であるのに対し、KC-45 使用時には 100%CO₂ および 25%Ar で 10×10^{-3} 、 14×10^{-3} (外挿値) 原子濃度となる。Fig. 10 に対応するビード外観例を Photo. 3, 4 に示す。

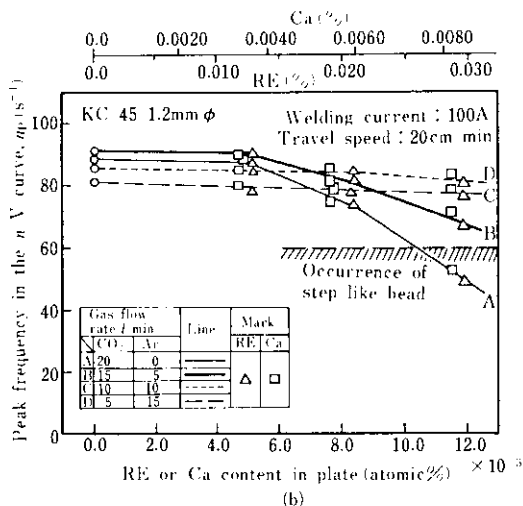
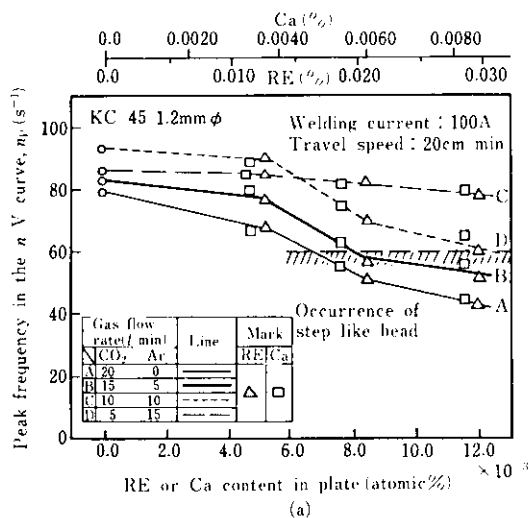


Fig. 10 Influences of RE or Ca atomic concentration on the occurrence of the step like bead in short-circuit welding by (a) Ti bearing wire and (b) Ti-free wire

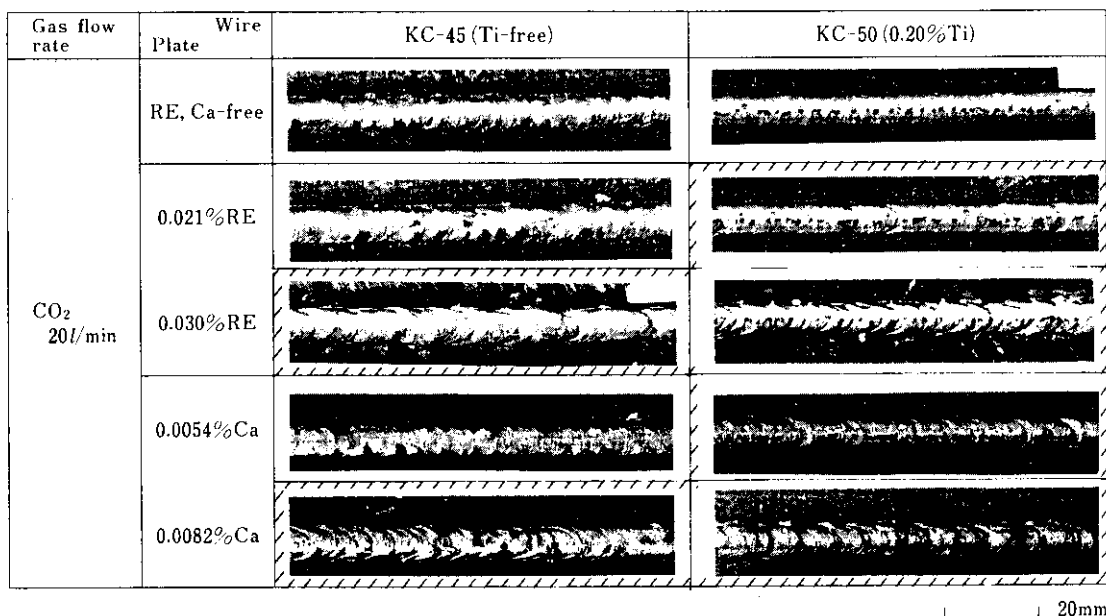
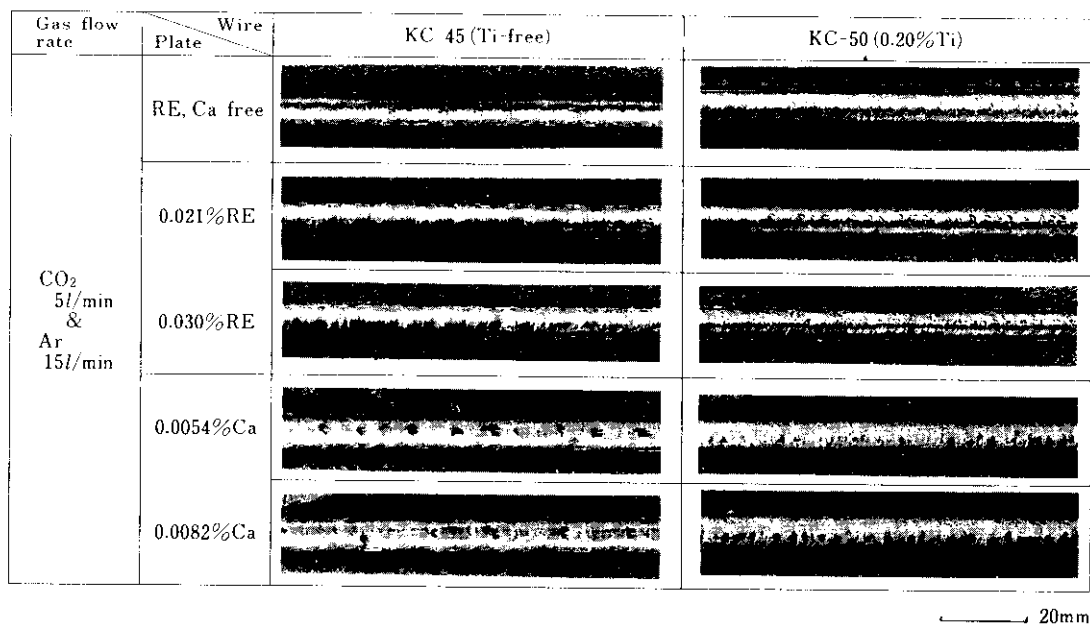


Photo. 3 Examples of weld bead obtained by the short-circuit transfer welding of CO₂ shielding

Photo. 4 Examples of weld bead obtained by the short-circuit transfer welding of CO₂-Ar shielding

4. スパッタロス発生状況

CO₂ 溶接におけるスパッタはときにはシールドノズル閉塞をもたらし、ワイヤ送給やガス流れに支障をきたす。

低電流域短絡移行、高電流域グロービュラーおよびスプレー移行でのスパッタロス測定結果を Fig. 11, 12 に示す。不安定な溶滴移行に関連して、

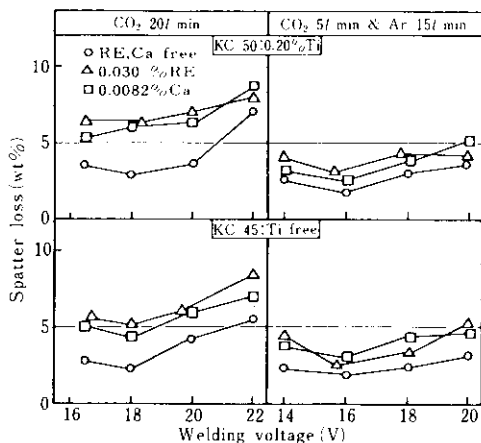


Fig. 11 Results of spatter loss measurement for the short circuit transfer welding

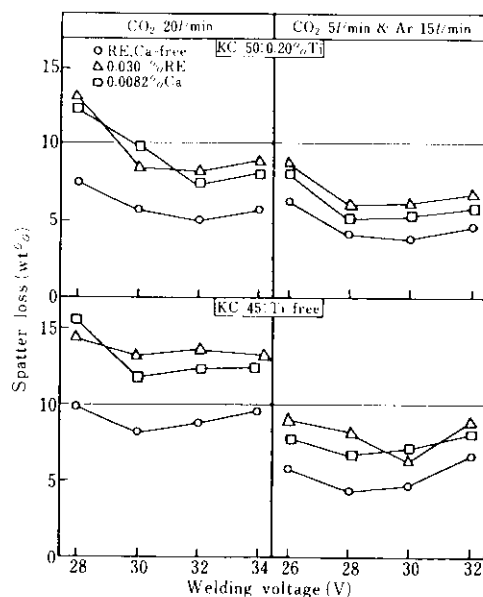


Fig. 12 Results of spatter loss measurement for the globular, or spray transfer welding

スパッタロスは RE または Ca 処理鋼の方が全般に多かった。

短絡移行域でのスパッタロスと電圧の関係は、前述の n - V 曲線を上下逆転した形となり、CO₂ 雰

囲気では RE または Ca 処理鋼, および Ti 入りワイヤの場合にスパッタロスが多いが, CO₂-Ar 雰囲気でのスパッタロスはすべて低レベルにある。

一方, グロビュラー移行においては, Photo. 5 にみられるように, RE または Ca 処理鋼の CO₂ 溶接で多量の塊状スパッタが発生した。アークの高速度写真によると, グロビュラー移行時の溶滴は, 一層強力なアークの移行抑制作用のために短絡移行時より粗大であった。

グロビュラー移行における Ti は, 短絡移行とは逆にスパッタロスを低減させた。これはスパッタの発生機構が溶滴移行形態によって異なることに起因する。

短絡移行では短絡が破れる際のフューズ作用が, グロビュラー移行では溶滴の落下による衝撃と溶滴内 CO の爆発がスパッタの主因となり¹²⁾, グロビュラー移行における Ti は脱酸効果の面からスパッタロス低減に有効に作用したと考えられる。

グロビュラー移行においても CO₂-Ar 雰囲気の場合にスパッタロスが減少した。

ワイヤ組成, シールドガス組成をパラメータとして, RE または Ca 原子濃度とスパッタロスの関係を Fig. 13 に示す。スパッタロスに対する RE および Ca の影響は, 短絡特性と同様にそれらの原子濃度で統一的に評価し得た。

たとえばグロビュラー移行域の場合, KC-50 を用いると, CO₂ 雰囲気における 8×10^{-3} 原子濃度でのスパッタロスは KC-45 使用時の RE および Ca 無し鋼と同等になり, さらに Ar の併用によって半減される。

ビード断面形状に対する RE および Ca の影響はほとんど認められず (Photo. 6 参照), CO₂-Ar 雰囲気では溶込み深さが若干小さかった。

5. アーク特性に対する鋼板中の RE, Ca の影響機構に関する考察

Gas flow rate	Wire Plate	KC-45 (Ti-free)	KC-50 (0.020%Ti)
CO ₂ 20l/min	RE, Ca-free		
	0.030%RE		
	0.0082%Ca		
CO ₂ 5l/min & Ar 15l/min	RE, Ca-free		
	0.030%RE		
	0.0082%Ca		

20mm

Photo. 5 Examples of weld bead obtained by the globular, or spray transfer welding

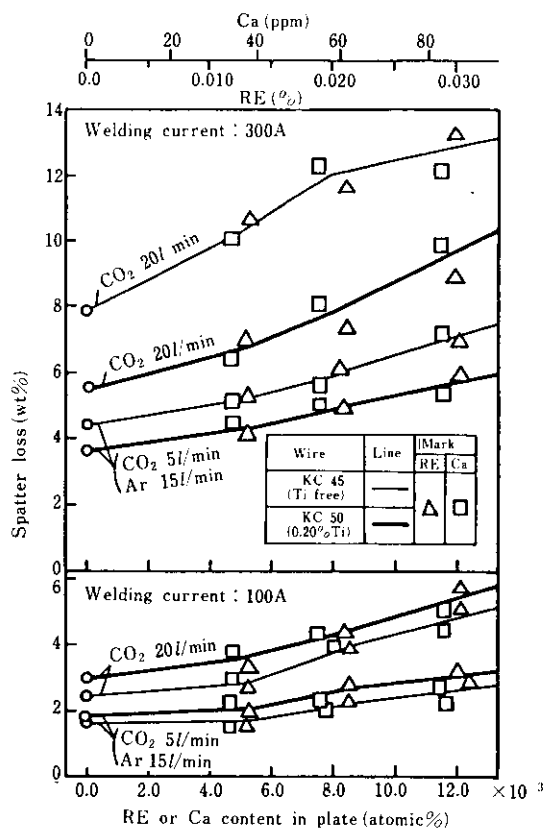


Fig. 13 Influences of RE or Ca atomic concentration, Ti in wire, and Ar mixing ratio in shielding gas on the spatter loss

耐 HIC ラインパイプの CO₂ アーク溶接において、短絡回数低下やスパッタロス増大をもたらす粗大溶滴の原因と考えられるアーク圧力の発生機構について考察した。

RE, Ca は酸化されやすく、酸化性の CO₂ 雰囲気のもとでは溶接スラグにそれらの酸化物が含まれる。

一方アークの発生、つまり電子の放出は、仕事関数の低い領域からより容易に行われる。RE, Ca 酸化物の仕事関数は、CO₂ 溶接で通常形成される Si, Mn 等の酸化物、あるいは溶接プール表面の大半を占める Fe 自身の仕事関数よりも低い。

RE あるいは Ca 酸化物に基づく活発なアークに CO₂ の熱的ピンチ効果が伴った場合、アークは緊縮し、強力なアーク圧力が生じて安定な溶滴移行

が妨げられる。

このような酸化物は溶接プール表面を非常に不規則に移動するため、溶滴に対するアーク圧力の作用は定常的でないと推定される。電圧波形、ビード外観でみられる不定期な短絡回数の低下はこれに基づくものであろう。

Table 3 に Richardson の式より算出される、異なる酸化物表面からの単位時間あたりの放出熱電子数を RE 酸化物のそれに対する比で示した。

電子数の比は酸化物を形成する金属元素の原子 1 個あたりについて算出し、陰極点の温度 2500°K、酸化物の表面積比は体積比に置換可能、物理定数の温度依存性は各酸化物で同一であると仮定した。また RE 酸化物の物性値は La で代表させた。

RE および Ca 酸化物からの放出電子数は他の酸化物に比し著しく大であり、かつ両者はほぼ一致した。

アーク電流は熱電子数以外に高電界放出電子数にも依存すること、さらに熱電子数の導出にいくつかの仮定が含まれることを考慮しても、RE または Ca が溶接プールに存在する場合にはアーク圧力が増大して溶滴移行が不安定になること、さらに RE と Ca は同一原子数においてアークに同等の影響を及ぼすことが本計算結果から説明できる。

溶接スラグ組成を Table 4 に示す。Ar 混合率の増大によるスラグ組成の変化はほとんど見られなかったが、スラグ生成量は減少した。これと Fig. 8 において Ar 混合率に伴う RE または Ca 処理鋼の n_p の増分が非処理鋼のそれよりも十分大きいことから、Ar による溶接プール表面の不活性化が間接的にアーク圧力低減に寄与したことも考えうる。

RE または Ca 蒸気の混入でアークプラズマの電位傾度が低下することをアーク長一定の TIG 溶接で確かめた (Fig. 14 参照)。したがって電位傾度低下によるアーク長の増大が溶滴移行不安定の一因とも考えられる¹¹⁾。

しかし本実験範囲では鋼板中の RE, Ca の有無およびシールドガスへの Ar 混合率でアーク長に明らかな差が認められず、直接の原因をアーク長にもとめることは困難であり、ワイヤに RE または Ca を添加した場合⁵⁾でも同様の見解が述べられている。

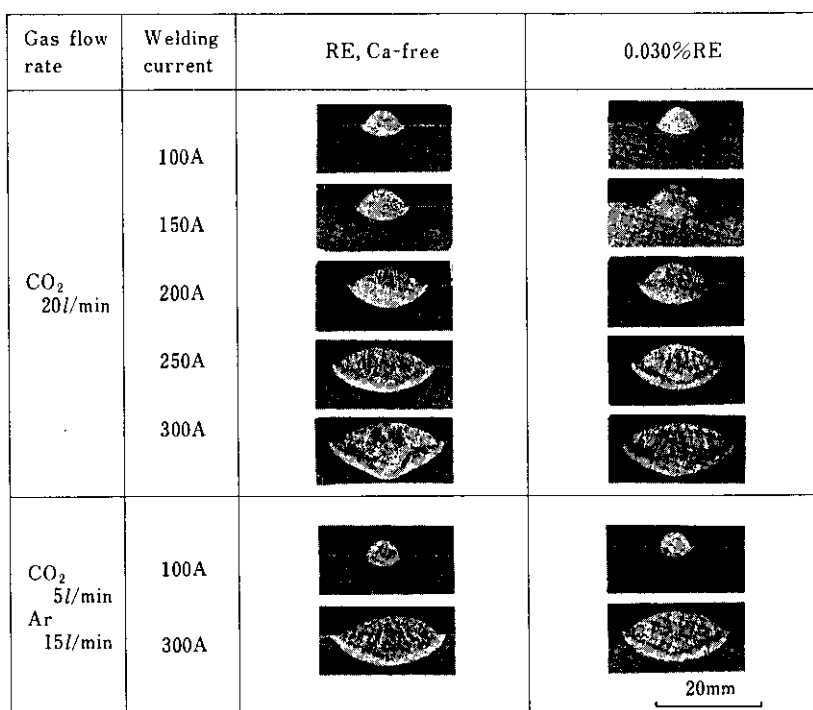


Photo. 6 Macro-sections for the various welding currents

Table 3 Oxide properties and numerical data on the electron number emitted from the oxide surface

Oxide	Molecular weight (g/mole)	Density* (g/cm ³)	oxide volume (cm ³ /mole)	Ratio of** the oxide area S	Thermionic* work function $\phi \times 10^{19}$ (J)	Ratio of*** electron number
RE ₂ O ₃	326	6.51	50.1	1.00	4.48	1.0
CaO	56	3.40	16.5	0.66	4.32	1.1
SiO ₂	60	2.32	25.9	1.03	8.00	3.8×10^{-5}
Al ₂ O ₃	102	3.97	25.7	0.51	7.75	3.9×10^{-5}
FeO	72	5.70	12.6	0.50	6.11	4.5×10^{-3}

* Quoted values from "Oxide Handbook"

** Ratio of oxide area corresponding to one metallic atom which composes the oxide was calculated on the basis of the same thickness

*** Number of electron emitted per unit time and area is calculated by $AT^2 \exp(-\phi/kT)$
(A : constant, T : 2500°K, k : Boltzmann's constant)

Table 4 Results of slag analysis

Plate	Shield gas flow rate (l/min)	Slag composition (%)							
		SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	T.Fe	La ₂ O ₃	CeO ₂	CaO
RE, Ca-free	CO ₂ : 20	30.39	36.03	3.36	13.12	10.88	<0.10	<0.10	<0.10
	CO ₂ : 10, Ar : 10	28.91	34.24	3.45	13.24	9.82	<0.10	<0.10	<0.10
	CO ₂ : 5, Ar : 15	28.80	34.76	3.07	15.31	9.68	<0.10	<0.10	<0.10
0.030%RE	CO ₂ : 20	32.90	36.27	3.49	14.16	7.37	0.25	0.30	<0.10
	CO ₂ : 10, Ar : 10	30.63	36.29	3.43	16.79	7.26	0.45	0.50	<0.10
	CO ₂ : 5, Ar : 15	29.82	34.19	3.42	17.15	8.56	0.50	0.50	<0.10
0.0082%Ca	CO ₂ : 20	33.32	38.14	3.28	12.20	8.27	<0.10	<0.10	0.22
	CO ₂ : 10, Ar : 10	32.10	37.87	3.43	16.45	7.60	<0.10	<0.10	0.33
	CO ₂ : 5, Ar : 15	31.35	36.38	3.81	17.70	7.25	<0.10	<0.10	0.34

Wire : KC-50 bearing 0.20%Ti (1.2mm ϕ), Welding current : 100A, Welding speed : 20cm/min

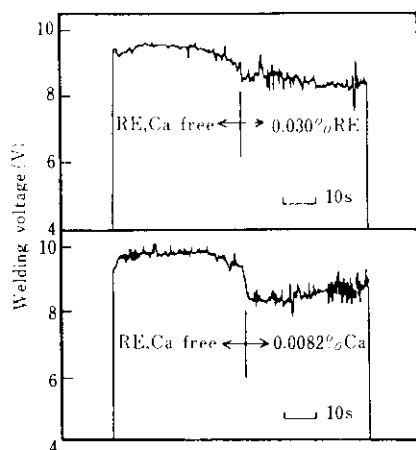


Fig. 14 Welding voltage oscillograms of GTAW for RE, Ca-free, 0.030%RE, and 0.0082%Ca bearing plate (welding current: 200A, Travel speed: 15cm/min, Ar gas flow rate: 25 l/min)

6. まとめ

RE や Ca 処理ラインパイプに対するガスメタルアーク溶接特性について検討し、シールドガス組

成、ワイヤ組成の面からアーク安定化に有効な下記の知見を得た。

- (1) 短絡回数、スパッタロスなどのアーク特性に対する鋼板中の RE, Ca の影響はそれらの原子濃度で統一的に評価し得る。
- (2) RE, Ca 処理ラインパイプの CO_2 溶接におけるアーク不安定は、RE, Ca 酸化物の低仕事関数と CO_2 の熱的ピンチ効果に基づく強いアーク圧力が溶滴移行を抑制する結果であると推定できる。
- (3) 溶滴移行不安定は、短絡移行では短絡回数低下を、グロービュラー移行では過大のスパッタロスをもたらす。
- (4) シールドガスへの Ar 添加はアーク圧力低減、酸化反応抑制効果などにより、ラインパイプの円周溶接における広範囲な条件にわたって有効なアーク安定化手段となりうる。
- (5) 短絡移行では Ti 無しワイヤが、グロービュラー移行では Ti 入りワイヤが好溶接結果をもたらすので、溶接条件によるワイヤ選択が必要である。
- (6) 本実験範囲での鋼板中の RE, Ca はビード断面形状にほとんど影響を与えない。

参考文献

- 1) Y. Nakai, O. Haida, T. Emi, K. Hirose and H. Mottate: "Development of Line Pipe Steels Resistant to HIC in Wet Hydrogen Sulphide Environment", Middle East NACE Corrosion Conference in Bahrain, (1979, 4)
- 2) B. Pollard: Welding J., 51 (1972) 11, S 533
- 3) E. Banks and K. Gunn: "Australian Experience in the Welding of Corium-Treated C/Mn/Nb Steels for Structural and Pipeline Usage", Conference of Welding of HSLA Structural Steels in Rome, (1976, 11)
- 4) H. Sasaki, K. Akahide, and J. Tsuboi: Trans. JWS, 7 (1976) 2, 100
- 5) 益本, 荒木: 溶接学会溶接法研究委員会資料, SW-941-77 (1977, 7)
- 6) 松山, 坪井: 溶接学会講演概要, 第 25 集, (1979, 9), 337
- 7) F. Matsuda, M. Ushio, T. Tsuji and T. Mizuta: Trans. JWRI, 9 (1980) 1, 39
- 8) 秋田, 浅田: 鉄と鋼, 61 (1975) 8, 109
- 9) 斎藤ほか: 「溶鉄・溶滓の物性値便覧」(日本学術振興会・日本金属学会・日本鉄鋼協会共催, 鉄鋼基礎共同研究会, 溶鋼・溶滓部会編), (1972, 1), 50 [日本鉄鋼協会]
- 10) 斎藤ほか: 「溶鉄・溶滓の物性値便覧」(日本学術振興会・日本金属学会・日本鉄鋼協会共催, 鉄鋼基礎共同研究会, 溶鋼・溶滓部会編), (1972, 1), 124 [日本鉄鋼協会]
- 11) 武田: 「鋼の溶接現象におよぼす電極線材質の影響」, 学位論文, (1978, 8), 98
- 12) 安藤, 長谷川: 「溶接アーク現象」, (1962), 289, [産業図書]