《特別講演》

被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法*

(略して NOW 法)

関 口 春 次 郎**

 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding Process with Insertion of Coated Rods*

by Harujiro Sekiguchi**

まえがき

私は1969年4月アメリカ合衆国を訪問し、フィラデルフィアでの米国溶接学会(50周年記念)年次大会に出席した。そのとき“ $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding Process with Insertion of Coated Rods”なる私の英文論文を、Welding Journalに掲載して頂くよう、編集長 Mr. Schoonmaker に会って依頼した。したがってこれは近く同誌に掲載されることと思う。

日本の溶接学会では本法について断片的に一小部分を講演したことはあるが、まだ会誌に詳しく公表したことはない。本法は着想以来数年を経過し、多数協力者の実用化への努力が結集され、日本の工業界でようやく注目をあびるようになってきた。この方法は略して NOW 法と呼ばれている。

昨秋、溶接学会から1970年の春季全国大会においてなにか特別講演するようにと依頼を受けた。私は国内でも本法について総合的に公表する義務を感じていた、そこでこの NOW 法について創始以来の経過を語り、実験結果を述べ、実用化への努力について報告することは意義あることと考えた。そして今回の特別講演の題目として、上記英文題目と同じ「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」を選んだしだいである。

抜 粋

著者は1933年から鋼材溶接の研究をはじめたのであるが、最初の5年間は溶接棒についての基礎研究を行なった。そして脱酸性元素を含む低炭素含量の鋼線が溶接用鋼線として良いことがわかった。その後 Mn および Si 含量についての理論的攻究を進め、1951年溶接用鋼線についての関口提案^{1,2,3)}を発表した。これは日本の工業界

で認められはじめ酸素・アセチレン・ガス溶接用鋼線として実用された。ついで1953年頃から著者は CO_2 アーク溶接をはじめ、ついで $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接の研究を進めた^{4,5,6,7)}。1958年頃にいたり関口提案にもとづく Mn および Si 含有鋼線を電極鋼線とする $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法が日本工業界で実用されはじめた^{8,9,10)}。そして今日ではその応用はいちじるしく拡大されている^{11,12)}。

1964年頃になり著者は塩基性フラックスを溶接の溶融池に供給することの意義を痛感した。そして塩基性被覆棒を溶接しようとする開先のルート部に置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接すると、溶接鋼の品質が向上することを知った、またこの方法によると I 型突合せ溶接が可能であり、さらにバックিং・フラックスを突合せの背部におしあてれば、鋼板突合せ部の背面にみごとな裏波ビードが出現することを知った。そして細隙片面自動アーク溶接(Narrow Gap One Side Automatic Arc Welding Process)を創始することができた。この方法は略して NOW 法ともいわれている。この NOW 法によれば溶接は迅速に進行し溶接費はいちじるしく削減できる。なお本法によると溶接ひずみが小である。1968年本法は日本工業界で試用され、その応用はしだいに拡大するすう勢にある。

この報告ではまずこの方法の創始からとき、鋼材溶接についての諸種の試験結果を明かにした。ついで手動アーク溶接法による場合およびサブマージ・アーク溶接による場合と本法による場合の比較を行ない、本法の特徴を明かにしている。

1. 緒 言

$\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法が創始されてすでに約10年を経過した。この方法は日本工業界で鋼材の溶接に実用され、その応用は今日いちじるしく拡大された。第1図は $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法用機器の普及状況および電極鋼線

* 原稿受付 昭和45年4月15日(昭和45年度溶接学会春季全国大会における特別講演・本法については特許申請中)

** 名 誉 員 名古屋大学名誉教授 大同工業大学教授

第1図 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接用機器の累積台数および DS 鋼線半年間需要量の変化

の需要の増大を示している。

一方著者は鋼材溶接部の機械的性質の向上について種々攻究した結果、塩基性フラックスを溶融部に供給すると、衝撃値を上げ得る可能性が大きいことを予想し、いかなる方法でこれを供給するかについて検討した。そして塩基性被覆棒を開先に置き、その上に $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アークを発生させて溶接するのが簡便で良い方法であることに気付いた。 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接においては溶融金属の温度はいくぶん高いので溶込みがよく、被覆棒を置いててもこれがとけずに残るようなことはない。

そしてこの実験を行ない、はからずも裏ビードがきわめて良く確実に現われることを知った。また溶融凝固部の気孔を無くしかつ衝撃値の優秀を期するには、電極鋼線のみならず、置き被覆棒の心線として、Mn および Si を適当に含む鋼線またはさらに他の脱酸性元素も含む鋼線（溶接用鋼線についての関口提案に沿う鋼線）を使用するとよいことが明かとなった、この方法が「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」である。

さらに開先について攻究し溶接すべき鋼板の縁辺を特に削稜せず、I 型突合せでこの方法を適用することも容易なことを知った。かくすると溶融凝固する部分がきわめて小であり、厚さ 38 mm 鋼板も 3 層または 4 層で溶接を完了できることを確認した。結局充填材料が少なく、溶接時間が短かく、溶接費がきわめて低廉である。

このように本法による I 型突合せ溶接では、充填すべ

き間隙がせまく、しかも片面から溶接が可能であり、かつ自動的に操作できるので、細隙片面自動アーク溶接法（Narrow Gap One Side Automatic Arc Welding Process）と称せられ、略して NOW 法といわれている。

NOW 法によると、溶融凝固部の横断面はせまく、開先の両側は平行であるため、溶接ひずみが小さい。

本報ではこれらの実験結果および本法実施上の要点を述べたい。

2. 本法の創始

特殊の鋼心線に被覆を施した「置き被覆棒*」を、母材を突合せた開先部、I 型間隙部または母材を組立てたスミ肉予定部のルートに置き、この部分に前記の $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接を行なうようにしたのが、「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」である、また必要に応じて突合せ部の裏側にバックিং・フラックスを置き、溶接を行なうようにすると、前記の被覆棒とこのフラックスとの共同作用により、適当で優れた裏波溶接が可能である。

この方法では、開先部、I 型間隙またはスミ肉予定部に送給する $\text{CO}_2\text{-O}_2$ ガスが鉄の融点近傍の温度で強酸化性を呈するので、置き被覆棒の心線からも脱酸性元素を供給する。なお必要に応じ被覆からも脱酸性元素を供給することもできる。このために心線としては脱酸性元素を故意に合金させた鋼心線を用いる、また被覆としては塩基性のものを採用し溶接部内質の向上を期するが、ビード外観をよくするため、酸性または中性とする場合もある。

つぎに本法の実施例を図面について説明しよう。第2図はスミ肉溶接継手を示す。図のように溶接前のスミ肉予定部のルートに「置き被覆棒」1を適当本数置き、この状態でこの部分に $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接を実施する。これにより「置き被覆棒」1は完全に溶けスミ肉予定部のルートに、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法の電極鋼線とともに溶着して継手2を完成する。第3図はV型突合せ溶接継手

第2図 スミ肉溶接継手（1層）

* これは手動アーク溶接用被覆棒と異なり、ホルダーでつかむ棒心線の部分、すなわち「つかみ部」が無い、ただしアークスタートの部分では被覆を除き裸とする。

第 3 図 V型突合せ溶接継手 (2 層)

を示す。溶接前のV型突合せ開先部のルートに「置き被覆棒」3を置き第1層を $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接により溶着した後、その上に同様に「置き被覆棒」5を置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接により第2層を溶着する。4は第1層溶接金属、6は第2層溶接金属である。

第4図はI型突合せ溶接継手を示す。突合せの背面にバックング・フラックス7を置き、これに接触させて*、すなわちI型間隙のルート部に「置き被覆棒」8を置き、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接により第1層溶接を行ない、その上にまた「置き被覆棒」10を置き第2層を同様に溶着する。9は第1層溶接金属、11は第2層溶接金属である。この場合適当な溶接条件を採用すれば、ビードの裏波は写真1に示すように完全かつ確実に出現する。なお、フラックスの化学組成としては塩基性、中性または酸性のものが選ばれるが溶接中ガスが発生し難いものが

第 4 図 I 型突合せ溶接継手 (2 層)

写真 1 裏ビードの一例 (板厚 27 mm, 3 層溶接)

*第4図において「置き被覆棒」8とバックング、フラックスが接触していないように見えるが、溶接後の裏ビードを示したためである。

望ましく、したがってフラックスとしては溶融処理をしたフラックスまたは焼成したフラックスをもちいることが望ましい。

前述の各溶接においては $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法による溶接金属すなわち溶接鋼は高温であり、被覆、スラグまたは非金属介在物の浮揚分離は容易で、溶接鋼中にはこれらは残存し難い。写真2は、第4図の要領で第1層を置き、つぎにその上に「置き被覆棒」を置いて $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接し第2層を作り、さらにその上に「置き被覆棒」を置いて第3層を $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接して得られたI型継手部の横断面を示すマクロ写真である。

写真 2 3層に溶接されたI型突合せ継手の横断面の肉眼組織 (板厚 29 mm)

このように本法によれば、「置き被覆棒」をあらかじめ溶接継手部に置くことと、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法の深い溶け込みとによって、比較的厚い鋼板を溶接する場合の速度はきわめて大きく、また溶接費は低下する。また母材板のI型突合せが可能であり、しかもバックング・フラックスと「置き被覆棒」との共同作用によって裏波をじゅう分に確実に出現させることができる。また「置き被覆棒」の被覆の組成を適当に選ぶことにより、溶接時の生成スラグは改善され、溶接鋼の内質がいちじるしく優秀となる。また溶接ビードの外観を改めることもできる。

3. 本法と従来法との比較

つぎに本法と従来の諸法について全溶接時間および全溶接費などを比較してみよう。

第1表はこの比較試験に用いた「置き被覆棒」の鋼心

第 1 表 供 試 材 料 の 化 学 成 分

材 料	化学成分	元 素					
		C	Si	Mn	P	S	Ti
置き被覆棒の鋼心線 (径 3.2 mm, 2.6 mm)		0.05	0.70	1.74	0.007	0.016	0.10
電極兼充填用鋼線 (径 2.0 mm, 1.6 mm)		0.09	0.75	1.70	0.010	0.015	0.15
母材 (SS 41, 厚さ 20 mm)		0.16	0.07	0.62	0.024	0.012	—

第2表 スミ肉溶接の比較

溶 接 方 式				被覆アーク溶接法	$\text{CO}_2\text{-O}_2$ 法	被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ 法
溶 接 長	mm			1000	1000	1000
溶 接 電 流	A			270	460	460
溶 接 電 圧	V			30	35	35
溶 接 層 数				2	1	1
溶 接 時 間	min			18.2	6.50	4.97
スラグ除去時間	min			2.4	1.33	1.83
全 溶 接 時 間	min			20.6	7.83	6.80
溶接棒費	被覆アーク溶接棒費	円		139.70	—	—
	電極兼充填用鋼線費	円		—	176.00	137.25
	置き被覆棒費	円		—	—	19.23
ガス費	炭酸ガス費	円		—	10.40	7.88
	酸素費	円		—	2.63	2.03
電力費	電力費	円		14.74	1.05	0.80
	人件費	円		412.00	156.60	136.00
	全 溶 接 費	円		566.44	346.68	303.19
比較	全溶接時間の比	%		100	38.0 (100)	33.0 (87)
	全溶接費の比	%		100	61.2 (100)	53.5 (87)

備考：スミ肉の脚長 13.2 mm，板厚 20 mm

電極兼充填用鋼線の径 2.0 mm，置き被覆棒の鋼心線の径 2.6 mm

線， $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接用の電極兼充填用鋼線および母材鋼の化学成分を示す。すなわち「置き被覆棒」の鋼心線および電極兼充填用鋼線は Si, Mn またはさらにその他の脱酸性元素例えば Ti を含んでいる。第2表にはスミ肉溶接の場合の試験結果を示した。第5図に示す従来の被覆アーク溶接法による2層スミ肉溶接と，第6図に示す $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法による1層スミ肉溶接と，第2図に示す本法によるスミ肉溶接との比較を行なったものである。

第5図 被覆アーク溶接の場合（2層）

第6図 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接の場合（1層）

第2表によれば，「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」を採用することにより，全溶接時間は従来の被覆アーク

溶接法実施の場合の33%に減じ，全溶接費は53.5%に減ずる。また従来の $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法と比較すると，「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」の場合は全溶接時間は87%に減じ全溶接費も87%に減ずることがわかる。したがって本法によると，生産速度がいちじるしく大きくなり，しかも溶接費をはなはだしく削減できる。

つぎに第3表は突合せ溶接の場合の試験結果を示す。第7図に示す従来の被覆アーク溶接法による4層突合せ溶接と，第8図に示す $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法による2層突合せ溶接と，第3図に示す本法による2層突合せ溶接ならびに第4図に示す本法によるバックリング・フラックスを用いたI型2層突合せ溶接との比較を行なったものである。

第7図 被覆アーク溶接法による4層突合せ溶接

第8図 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法による2層突合せ溶接

第3表によれば，「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」を採用しI型突合せ溶接を行なえば，開先加工時間と溶接作業時間との和，すなわち作業時間は従来の被覆アーク

第3表 突合せ溶接の比較

突合せ型式			V型突合せ			I型突合せ
溶接方式			被覆アーク溶接法	CO ₂ -O ₂ 法	被覆棒置き CO ₂ -O ₂ 法	被覆棒置き CO ₂ -O ₂ 法
開先加工	ガス加工の時間	min	7	7	7	—
	ガス費	円	240	240	240	—
	人件費	円	21	21	21	—
	開先ガス加工費	円	261	261	261	—
溶接関係	バンクエグ	円	—	—	—	157.50
	フラックス詰込時間	min	—	—	—	0.9
	溶接長さ	mm	1000	1000	1000	1000
	溶接電流	A	270	460	460	第1層 280 第2層 350
	溶接電圧	V	30	35	35	39
	溶接層数		4	2	2	2
	溶接時間	min	33.8	10.5	9.8	第1層 3.7 第2層 4.7
	スラグ除去時間	min	11.3	4.4	4.5	2.1
	全溶接時間	min	45.1	14.9	14.3	11.4
	溶接棒置き被覆棒費	円	231.68	—	—	—
関係	電極兼充填用鋼線費	円	—	315.60	284.12	236.25
	置き被覆棒費	円	—	—	22.34	12.97
	ガス費	円	—	16.74	15.60	13.52
	炭酸ガス費	円	—	4.19	3.90	2.02
	電力費	円	27.38	16.84	15.68	10.42
	人件費	円	902.00	298.00	286.00	228.00
	全溶接費	円	1161.06	651.37	627.64	650.68
	比較	%	100	33.0 (100)	31.7 (96)	25.3 (77)
	全溶接費の比	%	100	56.1 (100)	54.1 (96)	56.0 (100)
	作業時間	min	52.1	21.9	21.3	11.4
開先加工および溶接	全作業経費	円	1422.06	912.37	888.64	650.68
	作業時間の比	%	100	42.0 (100)	40.9 (97)	21.9 (52.2)
	全経費の比	%	100	64.1 (100)	62.4 (97)	45.8 (71.6)
		%				

備考 V型の開先角度60°, I型間隙 7 mm, 板厚 20 mm

V型突合せの場合—溶接棒の心線の重量(被覆アーク溶接法), 鋼線の重量(CO₂-O₂法)鋼線と置き棒心線の重量(被覆棒置き CO₂-O₂法)は何れも 1580 g

開先加工は両側の計 2 m についての値, バッキング, フラックスは溶接長 1 m についての値

電極兼充填用鋼線の径: V型溶接に対しては 2.0 mm

I型溶接に対しては 1.6 mm

置き被覆棒の鋼心線の径: V型溶接に対しては 2.6 mm

I型溶接に対しては 3.2 mm

ク溶接法実施の場合の21.9%に減じ, 全経費は45.8%に減じている。また従来の CO₂-O₂ アーク溶接法による V 型突合せ溶接の場合と比較すると, 「被覆棒置き CO₂-O₂ アーク溶接法」による I 型突合せの場合は開先加工時間と溶接時間との和, すなわち作業時間は, 52.2%に減り全経費も71.6%に減少していることがわかる。すなわち本法により生産速度をいちじるしく上げ, しかも生産費をはなはだしく削減することができる。しかし V 型突合せの場合は, 「被覆棒置き CO₂-O₂ 溶接法」は従来の CO₂-O₂ アーク溶接法に比べ作業時間についても, また全経費についても利得はいちじるしくない。なお I 型突合せによる作業時間および全経費の削減は第3表に示すように開先加工費がゼロであり, また第9図に示すように V 型開先の場合に比べ I 型の場合は間隙部の横断面積がいちじるしく小さいことによる。すなわち突合せ溶接

第9図 I型突合せとV型突合せの開先面積の比較

の場合に「被覆棒置き CO₂-O₂ アーク溶接法」による I 型突合せ溶接を採用すれば, 作業時間を短縮し, 開先加工および溶接の全経費をいちじるしく低減できることが明瞭である。また裏ビードを確実に出すことができ, 厚板の片面溶接が可能である。すなわち両面溶接の場合のように, 半分溶接した鋼構造物を反転する必要がなく, 生産時間および生産費は少なく, 既述の値よりさらに有利となることが予想される。なお被覆棒による手動アーク溶接法では厚板の I 型突合せ溶接は不可能であり, また被覆棒を置かなくては I 型突合せの CO₂-O₂ アーク溶

接法は容易ではない。

4. 「置き被覆棒」使用による 溶接部内質の向上

第1表に示す鋼心線と電極兼充填用鋼線とを用いて「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」を行ない、溶接部内質が従来の $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接した場合に比べ、明かに向上することについて述べよう。

第10図 溶接鋼の静的機械的性質

第10図は溶接鋼の静的機械的性質を比較したもので、この図によると、本法により溶接鋼の静的機械的性質は良好となることがわかる。また第11図は衝撃値を比較したものでこの図によると、本法によればシャルピー衝撃値は従来の $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法による場合と比較していじりしく改善されることがわかる。しかし開先部またはスミ肉予定部にあらかじめ置く被覆棒の心線および被覆の化学組成により溶接鋼の機械的性質に差異がある。第10図のAおよびBならびに第11図のCおよびDは被覆の相違による差異を示している。被覆の塩基度を高くすると溶接鋼の内質が良くなる傾向にある。もっとも裏面の溶接ビードまたは表ビードの外観などを良くするためには適当な被覆組成を選ぶことが望ましい。また被覆中に鉄粉または合金その他を混入して、溶接鋼の内質またはビードの外観を改めることも可能であろう。また「置き被覆棒」の被覆の厚さおよび溶接姿勢によっても溶接部の外観および内質に多少の変化が生ずる。スミ肉継手および突合せ継手の詳細な開先設計、あるいは「置き被覆棒」の置き方または「置き被覆棒」の心線の直径などについては種々の場合が考えられる。

またバックিং・フラックスをV型突合せ部あるいはU型突合せ部の背面に置いて良好な裏ビードを出すこ

第11図 溶接鋼の衝撃値

とができる。

「置き被覆棒」の心線としては Mn および Si などの脱酸性元素を特に合金しない普通の溶接用鋼線を使用し、被覆中にこれらの脱酸性元素の適量を含ませることもできるが、Mn および Si などを含む鋼心線を用いる場合の方が溶接鋼の化学成分が部位によって相違することは少なく、優秀で均質な溶接鋼が得られるものと思われる。

また置き被覆棒の鋼心線中には Mn および Si を含ませているが、さらに Ti, Al, Ca, Mg および Zr その他の脱酸性元素を少なくとも1種あるいはそれ以上を含ませて有効な場合がある。さらに合金元素として Cr, Ni, Mo, V, B および Cu その他の元素を少なくとも1種あるいはそれ以上を加える場合も考えられる。そしてこれらにより溶接鋼の特殊の性質を顕著とさせることが可能である。またアークおよび溶融池の近傍を被包させるために送給するガスとして CO_2 と O_2 との混合ガスを選ぶのが通例であるが、さらに Ar, N_2 およびその他のガスを混合して特殊の溶接鋼を期待することもできよう。

5. バッキング・フラックスと 裏波ビード

5.1 細隙片面自動または半自動アーク溶接法 (NOW 法)

バックিং・フラックスを併用すれば裏波ビードが確実に現われ、細隙片面自動または半自動アーク溶接法が

第12図 細隙片面自動アーク溶接法 (NOW 法) の原理図

可能である。第12図の (a) および (b) はこの NOW 法の原理を示している。図のようにバックিং・フラックスを裏当てとして I 開先の底部に「置き被覆棒」を充填し、その上方から $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法を行なうのである。溶接装置としては従来の $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接装置と同様のものでよく、なお電極の溶接装置を用いてタンデム溶接を行ない、作業能率の向上をはかることもできる。第13図はこの方法を用いて厚板の溶接を行なう場合の積層順序の一例を示す。

写真3 NOW 法により第1層溶接中

(a) 4層盛の場合

(b) 3層盛の場合

第13図 溶接要領の一例 (板厚 38 mm の場合)

写真4 NOW 法により第2～4層溶接中

写真3は本法による第1層溶接の状況を示し、写真4は第2層またはそれ以上の層の溶接状況である。また写真5は本法用溶接頭の一例である。特殊の塩基度の高い被覆を施した「置き被覆棒」を置くことによって生ずるスラグの物理的性質が適当に調節され、バックিং・フラックスの作用と相まって美しい裏波ビードが形成される。写真6はその裏ビードの外観の一例である。なお表ビードを示すと写真7のようである。

そして塩基性のスラグが生ずることによって、溶着金属中の非金属介在物がいちじるしく少なくなり、溶着金

写真5 NOW 法用溶接頭の一例

写真6 NOW法によるI型突合せ継手の裏ビード外観（軟鋼 SM41C、厚さ 38mm、4層溶接）

写真7 NOW法によるI型突合せ継手の表ビード外観（写真6に同じ）

属の諸性能もきわめて改善される。前掲第11図は溶接鋼の衝撃値の向上を明示している。

またI型突合せ溶接によって溶接作業能率が向上する。各層間でスラグ除去を行なう必要がなく、作業時間を短縮できるのも利点である。

5.2 細隙片面自動または半自動アーク溶接法の特長

この新しい溶接法の特長を挙げればつぎの通りである。

- 開先間隙がきわめて小さいので溶接作業を迅速に行なうことができ、いちじるしく作業能率が向上する。
- I 開先を用いるため開先加工の必要がない。
- 溶接費が低廉である。
- 全自動または半自動で美しい裏ビードが得られる。
- 厚板の片面溶接が可能である。
- 溶接金属の衝撃値が高い。
- 割れに対してきわめて鈍感である。
- 溶接ひずみが小さい。（これについては後述す

る。）

5.3 本法に用いる溶接材料

細隙片面自動または半自動アーク溶接法に用いられる「置き被覆棒」の鋼心線および電極兼充填用鋼線は前掲第1表のようなものであり、置き被覆棒およびパッキング・フラックスの実例を示すと、第4表のようである。

第4表 細隙片面自動または半自動アーク溶接法で用いる置き被覆棒およびパッキング・フラックス

(a) 置き被覆棒

銘柄	心線径 (mm)	被覆外径 (mm)	棒長 (mm)	フラックス
FCB-50	2.6	4.0	400	塩基性 フラックス
	3.2	5.0	400	

(b) パッキング・フラックス

銘柄 (粒度)	化学 成分	SiO ₂	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO
BF-200 (20×D)		44.8	35.6	8.2	4.0	2.5	1.6

5.4 溶接金属の諸性質

まず溶接金属の引張および衝撃試験について述べる。第1表および第4表に示す溶接材料を用いた。またつぎの鋼板を用いて試験板を作製した。

鋼 種：SM-41C、板厚：38mm

化学成分：0.16% C、0.26% Si、0.67% Mn、

0.010% P、0.022% S

第14図に示す試験板および溶着要領で溶接金属試験

第14図 全溶着金属試験板の形状、寸法ならびに試験片採取要領

板を作り試験を行なった。溶接試験板より引張試験片 (JIS Z 3111 A 1 号) および衝撃試験片 (JIS Z 2204 4 号) を採取し、溶接金属の機械的諸性質を調べた。第 5 表にその結果の一例を示す。

つぎに溶接金属引張試験片の平行部より試料を採取して行なった化学分析の一例を示すと第 6 表のようである。

また溶接継手の試験について述べる。第 15 図に示す試験板を用い溶接継手試験を行なった。溶接条件はつぎの通りである。

第 5 表 全溶着鋼の機械的性質 (一例)

引 張 試 験				衝 撃 試 験
降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	紋 り (%)	2 V ノッチ シャルビー値 kg-m (0°C)
47.0	58.1	32.0	61.7	12.0
47.2	57.6	31.7	60.3	12.6

第 6 表 全溶着鋼の化学成分

	化 学 成 分 (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
全溶着金属	0.09	0.43	1.10	0.007	0.014	0.20
	0.09	0.47	1.08	0.006	0.016	0.19

第 15 図 溶接継手試験板の寸法および試験片採取要領

溶接電流 370 Amp. アーク電圧 34 V.

衝撃試験片については母材表面より 2 mm, 板厚中心部 (溶着金属, ボンド, 熱影響部の 3 位置) および裏面より 2 mm の各位置からそれぞれ採取し, -60° , -40° , -20° , 0° , 20°C の各温度で衝撃試験を行なった。引張試験結果の一例を第 7 表に示し, 衝撃試験結果の一例を第 16 図に示す。

第 7 表 溶接断手性能 (一例)

引 張 試 験		曲 げ 試 験		
引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	自由曲げ	側曲げ	
55.4	母材	表 良好	良好	
55.8	母材	裏 良好	良好

第 16 図 溶接継手部の衝撃試験結果の一例

つぎに溶接継手部の板厚方向についての 3 位置から採取した試験片について化学分析を行なった。結果の一例を第 8 表に示す。また第 9 表の条件で溶接した継手試験板より自由曲げ試験片およびマクロ試験片をそれぞれ採取して試験を行なった。その結果を写真 8 および写真 9 に示す, 3 層溶接継手部のかたさ分布 (ビッカース硬さ, 荷重 10 kg) の測定結果の一例を第 17 図に示した。

第 8 表 継手溶接金属の化学成分 (%)

化学成分 位置	C	Si	Mn	P	S	Cu
板厚上部	0.10	0.42	1.20	0.009	0.016	0.20
板厚中央部	0.10	0.57	1.58	0.009	0.016	0.19
板厚下部	0.09	0.53	1.41	0.009	0.015	0.21

第9表 厚さ 38 mm 鋼板のV型突合せ溶接の条件の一例

層 数	溶 接 条 件		
	溶 接 電 流 (A)	溶 接 電 圧 (V)	溶 接 速 度 (cm/min)
1	300	30	22
2	330	30	25
3	350	32	25
4	380	35	22

写真8 溶接継手の自由曲げ試験片

5.5 溶接作業能率

板厚 20 mm の試験板を用い、1000 mm の溶接長を種々の溶接法、すなわち被覆アーク溶接法、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法ならびに本法を用いて溶接し所要溶接経費を比較した結果は既に第3表に掲げ示したのであるが、さらにサブマージ・アーク溶接法について実験した。そしてこれらを比較のため図示すると、第18図が得られた。同図によると本溶接法は他の溶接法に比べいじりく全経費が低く、また作業時間が短かく、溶接の能率化をはかることができる。

写真9 厚さ 38 mm 軟鋼板のI型突合せ溶接部のマクロ写真（4層溶接）

5.6 美しい裏ビードを得るための適正溶接条件範囲

細線片面自動または半自動アーク溶接法により美しい裏ビードを得るための適正溶接条件範囲を種々の施行条件について検討した。すなわち、両母材に目違いがある場合、「置き被覆棒」を継いだ時の継目への影響、アークが再発生した部分の裏ビードにおよぼす影響などについて調べた。第19図のように目違いが 0~3 mm にわたっている場合について調べたが、母材の目違いが 3 mm 以下であれば裏波ビードには何等の影響もない。また「置き被覆棒」の継目ならびに再アーク発生による悪影響もないことがわかった。なお厚さ 38 mm 鋼板を NOW 法で溶接する場合良好な裏ビードを得るための適正溶接条件範囲を示すと第10表のようである。

6. バッキング・フラックスおよび「置き被覆棒」の配置

細線片面自動または半自動アーク溶接法、すなわち

第17図 溶接継手部のカタサ試験結果

第18図 被覆アーク、サブマージアーク、CO₂-O₂ 各溶接法と NOW 法との作業能率および溶接経費の比較 (溶接長さ 1000 mm)

第10表 厚さ 38 mm 鋼板を NOW 法で溶接する場合、良好な裏波ビードを得るための適正溶接条件範囲

溶接条件		置き被覆棒 1 本 の 場合 (標準法)				置き被覆棒 2 本 の 場合	鋼板の目違い 0~3 mm
		ギ ャ ッ プ (mm)					
		6~7	7~8	8~9	9~10	7~8	7~8
全自動	電 流 (A)	280~340	280~400	280~350	280~360	340~400	280~360
	電 圧 (V)	28~ 32	23~ 30	32~ 36	32~ 36	30~ 34	30~ 36
	速 度 (cm/min)	20~ 24	20~ 26	22~ 24	22~ 24	24~ 30	22~ 24
半自動	電 流 (A)	320~350	300~380	300~380	300~380	320~400	290~380
	電 圧 (V)	32~ 36	30~ 38	30~ 38	30~ 38	32~ 38	30~ 38
	速 度 (cm/min)	≒20	≒20	≒20	≒20	≒25	≒20

第19図 目違いの状況 (一例)

NOW 法では、I 型突合せ部の背部にバックング・フラックスを押しつけるのであるが、その方法は、溶接すべき鋼板の大きさ、溶接線の長さなど溶接施行の規模により多少趣きを異にする*。長さ 4 m、幅 1.5 m 程度の厚

* バックング、フラックスは粒状に限らない、固形のものまたは帯状にし便利にしたものも考えられる。

板に実用される一形式を示すと第20図のようである。鋼製あて具の底部にゴム管を置きその上にバックング・フラックスをある厚さに配置し、ゴム管に圧縮空気または炭酸ガスを送り、その圧力でバックング・フラックスを鋼材突合せ背部に押しつけるのである。ゴム管内のガス圧はゲージ圧で1~3気圧程度である。バックング・フラックスの化学組成は種々考えられるが、その一例はすでに第4表 (b) に示した。

つぎに「置き被覆棒」はI型ルート部の中央線に沿うて、バックング・フラックスと接触させて置くのである。

CO₂-O₂ アーク溶接用電極鋼線をI型開先内に突き込み、「置き被覆棒」の直上でアークを発生させ、溶接線に沿ってアークを移動させると溶接が進行する。CO₂-O₂ アーク雰囲気は強い酸化性を有するので、溶融鉄の温度

は高く「置き被覆棒」はよくとけ裏波ビードが良く現われるのであろう。

第20図 (a) I型突合せグループの背面にバックリング・フラックスを適用する方法

第20図 (b) I型突合せグループの背面にバックリング・フラックスを適用する方法

7. 細線片面自動アーク溶接法と母材の変質

細線片面自動アーク溶接法によるI型突合せ溶接によると、他の溶接法による場合に比べ、開先が簡単で層数が比較的少なく、母材に及ぼす溶接熱影響がいかようであるかを調べ置くことはたいせつと思う。そこで厚さ29~32 mmのWel-Ten 80 高張力鋼板を母材として用い、諸法について比較することとした。同鋼は引張強さ91 kg/mm²、降伏点87 kg/mm²、伸び22%、-10°Cにおけるシャルピー衝撃値9 kg-m/cm²であり、曲げ試験結果も良好なものであった。八幡製鉄株式会社の製品であり、その化学成分はつぎの通りである(%)。

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0.15	0.27	0.81	0.015	0.008	0.23	1.2
Cr	Mo	V				
0.5	0.47	0.04				

長さ約500 mm、幅150 mmの母材試片2枚を第21図のように突合せ、諸種の方法を採用して溶接を実施した。それぞれの方法で使用了材料はつぎのようである。

NOW 法の場合

溶接用電極鋼線：DS 60，直径1.6 mm（大同製鋼株式会社製）

化学成分(%)

第21図 突合せグループの横断面 (I)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo
0.12	0.78	2.27	0.013	0.007	0.07	0.46

Ti Al Cu (メッキ)

0.32	0.48	0.44
------	------	------

置き被覆棒：FCB-50，心線径2.6 mm，長さ400 mm，被覆外径4 mm，塩基性被覆

（富士溶接棒株式会社製）

バックリング・フラックス：フジメルト C-250，前掲

第4表 (b) 参照（富士溶接棒株式会社製）

送給ガス：CO₂ と O₂ との体積比 20 : 5

サブマージ・アーク溶接の場合

溶接用電極鋼線：Y 80 M，直径4.8 mm（八幡溶接棒株式会社製）

化学成分(%)

C	Si	Mn	Mo	Cr	Ni
0.09	0.10	1.55	0.52	0.40	2.50

フラックス：YM 200，48×250 メッシュ（八幡溶接棒株式会社製）

化学成分(%)

SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	その他
28	30	21	0.5	10	10.5

被覆棒による手動アーク溶接の場合

溶接棒：低水素型高張力鋼用被覆アーク溶接棒

LH-80（富士溶接棒株式会社製）

4 mm 下向姿勢 150~180 A

5 mm 下向姿勢 180~230 A

NOW 法では3層溶接し、サブマージ・アーク溶接では4層溶接し、手動アーク溶接では9層溶接した。各溶接法によって得られた溶接板の中央部をビードに垂直に切断し、ビード中心より左右40 mmにわたり、ビッカース硬度を測定した。最後に置いた溶接層側の板面から1 mm深さにおける硬度分布を示すと第22図のようであ

第22図 ビードに垂直な断面におけるカタサ分布

る。

また同じく Wel-ten 80 高張力鋼の長さ 360 mm, 幅 150 mm の厚さ 32 mm 鋼板 2 枚を突き合せ, 手動アーク溶接法で, また長さ 500 mm, 幅 120 mm の鋼板 2 枚を突き合せ NOW 法で溶接した。開先形状は第23図の通りである。NOW 法では前記と同じ材料を用い, 手動アーク溶接法では八幡溶接棒株式会社製 80 kg/mm² 高張力鋼用溶接棒 L-80 を用いた。低水素型ライム系被覆棒である。そしてビードに垂直な断面について, 最終溶接層の近傍のビッカース硬度分布 (板面より深さ 1 mm) を調べ図示すると第24図のようである。

第23図 溶接熱の影響を調べるために採用した突合せグループの横断面 (II)

第22図および第24図によれば, NOW 法による場合の溶接変質部の極大かたさは手動アーク溶接およびサブマ

第24図 ビードに垂直な断面におけるカタサ分布

ージアーク溶接の場合と比べ低いことが明かである。

そこで NOW 法によって厚板を溶接する場合, I 型開先の面積が小さいけれども溶接熱影響による高張力鋼材変質硬化部の極大かたさはいちじるしくなく安全なことがわかった。

もっとも極大かたさを下げるには, 溶接前予熱すればよい。例えば第22図においてサブマージ・アーク溶接の場合層間温度を常温まで下げた場合は極大硬度が 383 および 377 であるが, 層間温度を 150° として溶接した場合は 325 および 302 であった。すなわち鋼材の種類および溶接法の種類によっては割れ防止の観点から予熱する必要がある。また強靱鋼などの場合は, 後熱によらねばなくなる。

8. 細隙片面自動アーク法と溶接ひずみ

細隙片面自動アーク溶接法による I 型突合せ溶接に際しては, 溶融凝固部の横断面積が手動アーク溶接により片面溶接する場合の V 型または U 型突合せ溶接に比べいちじるしく小である。また NOW 法による I 型開先はサブマージ・アーク溶接による V 型または Y 型突合せ溶接の場合のように開先の両側がたがいに傾斜していないで平行である。溶接後のひずみについて三者の場合を比較することは興味がある。

そこで厚さ 29 mm 軟鋼板 (SS 41) を試験母材として採用した。その大きさは第25図のように長さ 1000 mm

写真10 NOW 法による溶接状況

が、2つのノズルを採用し、写真10のように自動溶接することが可能である。第1層溶接前にバックিং・フラックスおよび「置き被覆棒」を置き、第1ノズルで第1層を溶接した後、「置き被覆棒」をその第1層ビードの上に自動的に配置するように動作する。それから一定の距離おくれた位置にある第2ノズルが進み、第2層ビードが置かれるのである。かくすると第1層および第2層溶接は溶接頭の1回の移動で実施することができ、高速溶接が可能である。

厚板の4層溶接を行なう場合には、2ノズル機を2回走らせればよい、3層または5層溶接には終りに1つのノズルを休止させ、他の1つのノズルで作業するか、または最後に1ノズル機を使用すればよい。

10. 結 言

ここでは「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」の創始について述べ、さらに本法による諸種の試験についてやや詳しく報告した。要約するとつぎのようである。

1. 溶接しようとする鋼材の開先部に塩基性被覆を施した「置き被覆棒」を置いて、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接を行なうと、得られる溶接鋼の衝撃値はいちじるしく良くなることを確めた。
2. 突合せ開先部の背部にバックিং・フラックスを置いて、「被覆棒置き $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接法」を実施すると、きわめて良好な裏ビードが出現することを知った。すなわちこの方法によって片面アーク溶接ができる。
3. この方法によると突合せ開先をI型にし、電極鋼線をI型内に挿入して溶接することができる。I型ルート部に「置き被覆棒」をバックিং・フラックスと接触させて置き、 $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アークでこれと母材縁辺とを溶融しつつ溶接が進行するのである。開先がI型であるため溶融凝固部の横断面積が小であり、しかも溶接は半自動的にも自動的にも実施可能である。そこで

この方法は細隙片面自動アーク溶接法 (Narrow Gap One Side Automatic Arc Welding Process) と呼ばれ、略して NOW 法と称される。

4. NOW 法ではI型開先で作業を実施できるので、種々の利点がある。
 - a. 開先加工の省略または低減
 - b. 溶接材料の節約
 - c. 溶接速度が大きい (溶接時間が短い)。
 - d. 溶接ひずみが小さい。
 - e. 溶接全経費の削減

5. NOW 法ではI型開先の横断面積は小であるが、アークが開先内に深く入っているため、発生熱は溶接部によく吸収され、また $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク雰囲気の高酸化性に基づく反応熱も加わり、溶接変質部付近の冷却速度は比較的小さいのであろうか、溶接変質部の硬化はいちじるしくなく、なごやかである。

要するに NOW 法で得られる溶接鋼の優れた品質およびこの方法で施行される溶接構造物のひずみの少ないことは、その構造物の安全を期待させる。また溶接速度が大きく、溶接全経費を削減できることは、この溶接法の魅力である。

本法の創始および実験的吟味には数年の歳月を要した。基礎研究から応用研究に進み、生産会社の協力も得られた。現在本法用の機器および材料は工業的規模において製造されるようになった。そして本法はすでに日本工業界の一部で試用され始めた。近く活用の段階に進むものと思われる。

感 謝

本研究は NOW 法の創始から実用化にいたる広範囲にわたっているのであるが、その推進に当っては、大同工業大学、富士溶接棒株式会社、東亜精機株式会社および大同製鋼株式会社より多大のご便宜を与えられ、力強いご協力をかたじけのうした。また石川島播磨重工業株式会社技術陣のご教示とご支援にあずかること多大であった。なお本研究実施に当っては、多数の関係者から熱心なご助力を受け困難克服に精進できたしだいである。著者はこれら諸機関および関係各位に対し謹んで謝意を表する。

1933年以来永年にわたり著者の一連の研究を注意深く見守りくださった恩師故村上武次郎博士*は、本研究についても関心を示され、大局的立場からご指導くださった。また著者の一連の研究成果の実用化にご支援くださった畏友故錦織清治博士**は、本研究の推進と工業化を

* 前東北大学名誉教授・前日本学士院会員、昭和44年7月29日逝去。

** 前大同工業大学々長、昭和44年6月17日逝去。

も重視せられ、困難なときに有効な助言と支持を与えられた。本研究が挫折することなく前進し、工業化への道をたどったのは、今は故人となられた両博士の激励の賜である。著者はここに謹んで両博士のご霊前に深謝の誠を捧げるしだいである。

参 考 文 献

- 1) H. Sekiguchi, "A New Proposal for Steel Filler Wire for Welding" (Outline), Welding Journal, Vol. 30 (1951), No. 12, Research Suppl. 622s-624s.
- 2) H. Sekiguchi, "A New Proposal for Steel Filler Wire for Welding" (Full text), Memoirs of the Faculty of Engineering, Nagoya University, Vol. 3 (1951), No. 10, 45~80.
- 3) H. Sekiguchi, "Theory and Proposal on Steel Fusion Welding and Their Application (An independent volume published by Nikkan Kogyo Shimbun in Japan), (1964), 25~44.
- 4) H. Sekiguchi and I. Masumoto, "A Japanese Process for CO_2 -Shielded Arc Welding of Steel", British Welding Journal, Vol. 4 (1957), No. 5, 205~212.
- 5) Секигухи Г., Мазумо И. "Японский Процесс Дуговой Электросварки В Защитной Среде углекислого Газа, Машиностроение", Vol. 54 (1957), No. 12, 45~57.
- 6) H. Sekiguchi and I. Masumoto, "Low Crack Sensitivity of Steel Joint by $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding", Welding Journal, Vol. 37 (1958), No. 7, Research Suppl. 326s~336s.
- 7) H. Sekiguchi, "The $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding Process with Steel Wire Containing Deoxidizers", Research and Application of Welding in Japan (A separate volume published by Japan Welding Society), (1959), 163~172.
- 8) O. Takagi, "Practical Development of A Japanese Process for $\text{CO}_2\text{-O}_2$ -Shielded Arc Welding", Submitted to the commission No. 12, the 1958 Annual Assembly of IIW. in Vienna, 1~8.
- 9) H. Sekiguchi, "Recent Advancement of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding Process in Japan", Document Number of IIW. XII-127-62, (1962), 1~131.
- 10) H. Sekiguchi, "Recent Advancement of $\text{CO}_2\text{-O}_2$ Arc Welding Process in Japan", Welding Research Abroad, Vol. 9 (1963), No. 4, 56~66.
- 11) H. Sekiguchi, "Deoxidation in Steel Fusion Welding and Its Effect on Impact Value of Weld Steel", Bulletin of Daido Tech. College, No. 1 (1965), 65~88.
"Desoxydation bei der Stahlschmelzschweißung und ihr Einfluß auf die Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes", 4, Internationales Kolloquium, Magdeburg (1964), 8/1~8/20.
- 12) H. Sekiguchi, "Progress of Steel Welding in Japan", Welding Research Abroad, Vol. 13 (1967), 34~58.

IIW/JIW

IIW Member Society の住所変更通知がまいりましたのでご連絡いたします

Australian Welding Research Association 9 the Floor
307 Pitt Street
SYDNEY
New South Wales 2000,
Australia

IIW 第 II 委員会（1969年度）文献集頒布案内

- <内 容> IIW 第II委員会（Arc Welding 関係）の各国提出論文，調査報告，討議記録等（1969年度分）を収録（別添，目次参照）
- <体 裁> 全文献青焼複写（英文或仏文）
A 4 版，表紙は布クロス張，金文字入り
全 2 冊，本文 849 頁，目次 9 頁
- <頒 価> 全 2 冊 12,000 円（分冊頒布は致しません）
- <申込方法> 当委員会所定の申込用紙をご使用下さい。
- <申込メ切> 第 1 回 昭和 45 年 6 月 30 日（頒布は約 2 週間後）
第 2 回 昭和 45 年 7 月 31 日（同 上）
- <申 込 先> 東京都千代田区神田佐久間町 1-11
社団法人 溶接学会内
日本溶接会議（JIW）第 II 委員会
- <代金払込> （期日）なるべく予約申込と同時に支払い下さい。やむおえない場合は現品送達後 1 ヶ月以内をお願いします。
（払込先）現金，小切手，郵便為替は予約申込先，銀行振込みは三和銀行岩本町支店へお願いします。