

## 工学博士関口春次郎君の「鋼の溶接棒ならびに炭酸ガス酸素

### アーク溶接法に関する研究」に対する授賞審査要旨

関口春次郎君の溶接に関する研究は昭和八年に始まる。最初東北大学において行ない、のち昭和十五年名古屋大学に転じ、溶接の研究に従事すること三十年に及び、発表した論文一三〇編、うち主題の研究に関するもの七五編に達している。これを大別すると次の三種に分類される。

- 一、被覆アーク溶接棒に関する研究
- 二、溶接用鋼線に関する研究
- 三、炭酸ガス酸素アーク溶接法に関する研究

#### 一、被覆アーク溶接棒に関する研究

(A) 軟鋼用アーク溶接棒の被覆剤の研究 関口君が溶接の研究にはいった頃は溶接工学発達の初期で、国産溶接棒の良質なるものがなかったので、まず軟鋼用アーク溶接棒の被覆剤について研究した。溶接棒における被覆剤の作用は溶接の際アークにより心線とともに溶融して、融鉄の表面を被覆し、アークを安定化し、空中より酸素、窒素または水素の侵入を防ぎ、堅実なる溶着鋼を得るためである。そこで被覆剤の組成を広範囲にわたって変化し、溶着鋼の性質、溶接作業の難易等について詳細なる研究を遂行した。即ち被覆剤の成分としては溶剤となるべき各種

の耐火性酸化物 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  等) の配合割合を変じ、添加剤として各種の脱酸剤、脱窒剤、還元ガス発生剤、合金剤、粘着剤を加えて軟鋼心線を被覆し、乾燥して溶接棒を製し、各溶接棒について溶接作業を行ない、溶剤の流動性、アークの安定性、スパッター等溶接作業の難易を観察し、溶接作業のうち溶剤を剥脱してビードの外観を調べ、溶着鋼について比重を測定し、またはX線によって気泡の多少を知り、化学分析によってその組成の変化を求め、検鏡によって顕微鏡組織を知り、機械試験によって引張強さ、伸び、絞り、硬さ、衝撃値を求めた。かくて広汎なる実験の結果各添加剤の影響を知り、溶接作業容易で優良なる溶着鋼を得べき被覆剤の配合成分を決定した。

また被覆量が溶着鋼の性質に及ぼす影響を研究し、被覆量が増すに従い溶着鋼の気泡ならびに窒素量が減じ、機械的性質が良好となることを明らかにし、優良なる溶着鋼を得るに必要な被覆量の限界を決定した。

### (B) 特殊の鋼材用および鑄鉄用被覆アーク溶接棒の研究

強靱鋼(防弾鋼)の溶接に際し溶着鋼の変形

能を改良するため、不安定オーステナイトを含む鋼を心線とし、被覆剤中に黄血塩を配合すると有効なることを明らかにした。

太平洋戦争の後半には国産含砒鉄鋳使用の必要に迫られ、鋼材中に砒素の加入が予想せられたので、これが溶接性に及ぼす影響を研究し、含砒低炭素鋼心線によるアーク溶着鋼の衝撃値低下は被覆剤中に脱酸剤として珪素またはクロムを添加すると改良されることを明らかにした。

終戦後低水素型被覆アーク溶接棒を用いて鋼材を溶接する場合、溶着部に生ずる気孔の発生について研究し、この

種の溶接棒には充分の脱酸剤を配合し、またアークの側方より炭酸ガスを送給し、アークを被包することが有効なることを提唱した。

また鑄鉄の溶接について研究し、珪素を多量に含む低炭素鋼線を心線とし、これに黒鉛、炭化珪素などの混合物を被覆したるものを溶接棒として用うるときは、溶接後冷却速度が早くても黒鉛化が進行し、優良なる鑄鉄溶着部が得られることを示した。この種の被覆溶接棒は数年前より実用化され、現在では造塊用鑄型の修理その他鑄鉄の溶接に活用されている。

## 二、溶接用鋼線に関する研究

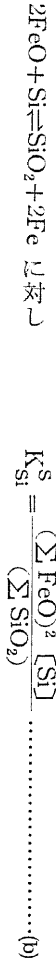
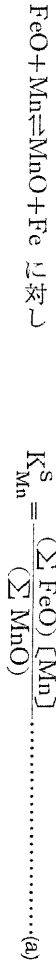
(A) 鋼のアーケ溶接棒心線の研究 軟鋼用被覆アーケ溶接棒の心線としては従来極軟鋼線が使用され、一

般に炭素その他の元素の含量が少なく純鉄に近いものが好適と考えられていた。

しかるに関口君は電解鉄を原料とし、これに各種の元素を一種ずつ種種の割合に添加したる合金鋼を溶製し、造塊圧延線引によって組成異なる各種の鋼線を試作し、これに被覆を施してアーケ溶接棒をつくり、これを用いて溶接試験を行ない、溶着鋼についてX線透過試験、比重測定、機械試験および顕微鏡検査を行なった。その結果酸素との親和力が鉄よりも大なる元素即ち脱酸性元素を含む鋼線を用うるときは、純鉄線を使用した場合よりもはるかに緻密な溶着鋼が得られることを確認した。また溶接現象は短時間の中に完了するので、当時は脱酸作用は起こらないと考えられていたのであるが、本研究により溶接の際脱酸作用の起こることが明らかにされた。

(B) 軟鋼溶接用鋼線の研究

鋼の溶接に際しては鋼材の一部および溶接棒心線が溶融し凝固して結合されるのであるから、溶接は一種の製鋼現象と考えることが出来る。そこで関口君は Körber & Oelsen の製鋼の際の脱酸に関する平衡理論を溶接の場合に応用して考察した。Körber & Oelsen は珪石ハツキを使用し、FeO・MnO・SiO<sub>2</sub> 溶滓と溶融鉄とを平衡に達せしめ、次の平衡恒数を決定した。



また溶滓と溶鉄との間における FeO の分布は  $L_{\text{FeO}}^{\text{S}} = \frac{[\text{FeO}]}{(\sum \text{FeO})} \dots\dots\dots (c)$

ここに  $(\sum \text{FeO})$ ,  $(\sum \text{MnO})$  は溶滓中の FeO, MnO, 各々の SiO<sub>2</sub> の濃度によつて  $[\text{Mn}]$ ,  $[\text{Si}]$  は各々の [FeO] は溶鉄中の Mn, Si は各々の FeO の濃度を示す。また  $K_{\text{Mn}}^{\text{S}}$  は各々の  $K_{\text{Si}}^{\text{S}}$  は溶滓が SiO<sub>2</sub> で飽和せる場合の Mn は各々の Si の平衡恒数であり、 $L_{\text{FeO}}^{\text{S}}$  は FeO の分配恒数である。

関口君はこれら恒数の実測値を用いて溶鋼の凝固直前の温度 1510°C における [Si], [Mn], [FeO] を計算し、第一図に示す平衡図を得た。図において界域Ⅰは脱酸生成物として固態の SiO<sub>2</sub> が生ずる範囲であり、界域Ⅱは SiO<sub>2</sub> に不飽和の FeO・MnO・SiO<sub>2</sub> 融液が生ずる範囲である。また界域Ⅲは脱酸生成物として FeO・MnO 固溶体が生ずる範囲である。脱酸生成物の分離は液態で球状をなすものももっとも速いにより、界域Ⅱの組成のものが脱酸生成物の浮游分離容易なることが知られる。

そこで Mn および Si を種種の割合に含む鋼線を試作し、適當なる被覆を施して溶接棒をつくりアーク溶接を行ない、または裸鋼線を用いて酸素アセチレン・ガス溶接を実施し、溶着鋼の諸性質を測定した。その結果心線の組成が Si 高く第一図領域 I にあるときは、ビード表面に開口せる小孔があらわれその性質も不良であるが、心線の組成が領域 II 内にあるときは、緻密にして堅実なる溶着鋼が得られる。また被覆の組成および量に従い、または被包ガスの本性および送給量などにより、溶接用鋼線の Mn 含量および Si 含量を適當に高くすることを明らかにした。

従来アーク溶接棒またはガス溶接棒としては、Si その他不純物のきわめて少ないものが最良と考えられていたところへ、関口君は上記の理論に基づき「溶接用鋼線についての新提案」と題して適當量の Mn および Si を加えたものが優良なることを内外に公表し、製造会社をして製造供給せしめたので世界の注意を喚起し、「関口心線」または「関口鋼線」と称して今日溶接工業に広く用いられ好評を博している。戦後アメリカより輸入された潜弧溶接法においてもこの種の Mn, Si を含む鋼線を使用しているが、さらに Mn および Si の高い関口鋼線を用うると一層良質の溶着鋼が得られる。

### (C) 特殊用途鋼用溶接棒心線の研究

戦時強靱鋼（防弾鋼）の溶接には 18.8 Cr・Ni 鋼を心線とする被覆

アーク溶接棒が多く用いられていたが、関口君は Ni および Cr 含量の異なる多くの鋼心線をつくり実験した結果、22% Cr, 12% Ni の安定オーステナイト鋼心線を用うるが有効なることを確認しこれを推奨した。しかるに当時わが国は Ni 資源欠乏しこれを実用化し得ない状況であった。そこで関口君はさらに代用鋼として Cr・Mn 系オーステナイト型心線の使用を提案し、16% Cr, 16% Mn 鋼線の採用に根拠を与えた。これは今日耐摩耗鋼用被覆アーク

溶接棒の心線として実用されている。

また太平洋戦争の中期わが国では含砒低碳素鋼線を被覆アーク溶接棒の心線として使用しなければならぬ情勢となつた。含砒低碳素鋼を被覆溶接棒心線として溶接するときは、溶着鋼の含砒量は増し、硬さは大となり、衝撃値は小となる。また溶着部内割れが発生し易い。そこでこれが対策を研究した結果溶接棒心線に Cr および Mo を添加するときは溶着鋼の硬さおよび衝撃値に及ぼす砒素の悪影響を防止出来ることを明らかにした。

### 三、炭酸ガス酸素アーク溶接法に関する研究

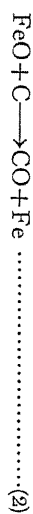
関口君は「溶接用鋼線についての新提案」をさらにガス被包アーク溶接法に適用して新溶接法を開拓した。即ちまず  $\text{CO}_2$  のみを送給して行なう溶接法について研究を始め、次いで  $\text{CO}_2$  に  $\text{O}_2$  を加えた強酸化性ガスを送給して行なう  $\text{CO}_2 \cdot \text{O}_2$  溶接法に進み、なお他のガスを送って行なうアーク溶接についても新機軸を開いた。

(A)  $\text{CO}_2$  アーク溶接法      アルゴンまたはヘリウムをアークおよび溶融池の周囲に送って大気を排除して行なうアーク溶接法は、終戦後まもなくわが国に輸入せられ、主として非鉄金属の溶接に利用されてきたが、経費の関係で一般鋼材の溶接には普及し難い状況にあった。

そこで関口君は廉価にして入手容易なガスとして  $\text{CO}_2$  ガスを選び、鋼材の溶接に適用しようとした。このガスは高温において次のごとく解離し、溶融鋼に対して弱い酸化性を示す。

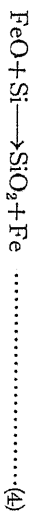
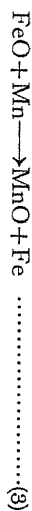


そこで溶融鋼中にはFeOを生ずる。また溶融鋼中にはCがあるので次の反応によりCOガスを生じ



その生成圧が大となれば溶融鋼が凝固の際COガスを析出して気孔を生ずる。

しかしMn, Siを含む鋼線を用うるときは溶鉄中において次の反応が起こる。



従ってCO濃度が小となるため(2)の反応は起こり難く、溶着鋼中に気孔が生じないはずである。

従来CO<sub>2</sub>ガス被包アーク溶接法は考えられたことはあったが、気孔生成のため成功しなかったのであるが、関口君はMn, Siを含む関口鋼線を用いてCO<sub>2</sub>ガス・アーク溶接法に成功した。

#### (B) CO<sub>2</sub>・O<sub>2</sub>ガスアーク溶接法

関口君は前記の現象をさらによく検討し、脱酸性元素たるMnおよびSi

を一層多くすれば、送給ガスが一層強い酸化性でも溶着鋼中に気孔を生じないであろう。また前記(3)式および(4)式は発熱反応であるから、アークにより溶融した溶着鋼はその反応熱によって温度上昇し、脱酸生成物の浮揚分離は良好となり、溶け込みが深くなるであろうと考え、さらに広汎なる実験を行ないこれらの事実を確認した。また被包ガスと裸線の使用により連続操作が可能となるので、アークの距離および溶接速度を自動的に調節し得る装置を連結し、ここに画期的の新溶接法を發明大成し、「炭酸ガス関口鋼線アーク溶接法」略して「炭関アーク溶接法」と名づけた。

本溶接法の特徴を挙げる。

(一) 連続的自動調節作業が可能なること、従来の溶接棒による手溶接では溶接部の良否は主として溶接工の技能に依存し、また溶接棒には絶縁性の被覆剤が施してあるので、棒に連続的に通電することが出来ないため、連続溶接または溶接の自動化能率化は不可能であった。しかるに本溶接法は裸線であるから捲線を連続的に送給し、自動調節装置に連結して一定の好条件の下に作業し得るので、溶接工の技能に依存する必要なく、連続自動能率化増産が可能である。

(二) 溶着部の性質が優良なること、(1) 鋼線の脱酸剤含量充分ならば $\text{CO}$ を生ずることなく、また送給ガス $\text{CO}_2$ 中に $\text{H}_2\text{O}$ 含有量充分僅少なれば、 $\text{H}_2\text{O} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$ によって水素を生ずることなく、溶接部に水素の析出による気孔を生じない。また亀裂も生じ難い。(2) 被包ガスに酸素を添加せるため反応熱により温度上昇し、鋼線の溶融速度を増し溶け込みが増大する。また脱酸生成物の浮揚容易なるため溶着鋼中の介在物僅少である。(3) 送給ガス中の酸素を適当に増すことにより溶着鋼の引張強さおよび硬さは低下し伸びは増加す。すなわち粘靱なる溶着鋼が得られる。また鋼線中の $\text{Mn}$ ,  $\text{Si}$ 含量によって溶着鋼の機械的性質が調節出来る。

(三) 溶着状況の改良、送給ガスへの酸素の添加によりアークが安定し、溶融鋼滴の移行状態および溶着状況が良くなる。またスパッターは少なく、溶滓のカブリはよく剥脱し易くなる。従ってビードの外観が改良される。

(四) 生産費の著しい低減、溶接前の削稜を省略または軽減することが出来、連続自動操業により溶接工の熟練を要せず、溶融速度を増し、生産性の増大を来し、生産費の著しい切下げが可能である。



これらの結果を邦文十八編をもって詳細に報告した。

なお本溶接法はもつとも需要大なる軟鋼または高張力鋼その他低合金鋼に應用して有用なるものであるが、オーステナイト型ステンレス鋼の場合には送給ガスとして  $\text{CO}_2 + \text{N}_2$  ガスを用うるときは、アルゴンを使用した場合に比し、得られる溶着金属の機械的性質、耐食性などなら遜色なく、高価なるアルゴンガスに代用し得ることを確認した。

### (C) 本溶接法応用の進展

本溶接法は上記の特長を有するもので昭和三十一年頃から国内で実用化された。

今日家庭電気機器（冷蔵庫）、油圧器、鉄道車両、土工用機械（ブルドーザー等）、製罐、建設機械の構造部、スパイラル鋼管、自動車工業等に広く応用せられ、本法の用途は急速に増大しつつある。

### (D) 海外における本研究についての反響

本溶接法についてはすでに五回にわたり国際溶接学会に報告し

たが、昨年六月オスローにおいて開催された国際会議に「日本における  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  アーク溶接法の最近の進展」と題し、英文報告を発表したところ非常な好評を博し、同委員会決議によりこの英文報告は各国の学協会で原文のまま、または翻訳して出版されるように勧告された。

また英国、ベルギー、米国、西独、ソ連等各国の学者技術者の着目するところとなり、特許実施または鋼線の輸入について申込みあり、折衝中である。

要するに関口君は三〇年の長きにわたり、冶金学の基礎的理論に立脚して溶接現象を研究し、溶接棒については独創的な脱酸剤を添加した関口鋼線を発明して、アーク溶接ならびにガス溶接の画期的進歩に寄与し、さらに  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$

ガス被包の下に開口鋼線を用いて、自動化可能で優良なる溶着鋼が廉価に増産し得る新溶接法を開拓して、溶接技術の革新を来たしたことは充分高く評価さるべきものである。