視
点私の見て来た溶接
技術

雑 賀 喜 規

On my observation of weld-
ing technologies

by Yoshinori SAIGA

昨今、溶接と言葉から接合など広義な表現が多くなった。これは今までの溶接が主として金属材料の接合が主であった時代から近來、新素材としてのセラミックスや FRP, FRM など他の分野の材料の接合問題が多くなって来ているためそのイメージチェンジによる所のものであらうと思われる。

昔の溶接分野においては造船、機械技術者の他冶金や電気技術など種々の分野の技術者が集ったいわゆる学際、業際技術が集って溶接技術を開拓し伸びて来た。

私は金属技術屋として昭和 25 年以来、重工業に職を得て重厚長大な溶接構造物の製造に関与して来たのでそれらを通して若干の所見を述べて見たい。

溶接は昔、一般に溶接工学とは言わず溶接技術と呼ばれ、技術が主体であったと思われる。それは学問的体系が確立されていなかったためと考えられる。最終的には溶接されて出来上がった構造物が使用環境下で必要かつ十分な機能が発揮されるかが問題だ。その意味では溶接は加工プロセスの一つであった。

過去 30 有余年、造船に、石油科学に、エネルギープラントにその発達の歴史と共に次第に厳しい条件を乗り越えながら力学的に、冶金的に検討されながら溶接技術が進歩発展して来たのである。

振り返って見ると 1950 年代はサブマージドアーク溶接が造船部門に取入れられ、鋼材のサルファバンドによる亀裂（サルファクラック）が問題となった。製鉄所の皆さんのご協力を得てこれらの問題も徐々に解決され、低延性や溶接性が考慮された鋼材が開発された。我々造船所側もそれに呼応して片面自動溶接技術の研究行なって船の大型化に貢献した。当時、とくに問題とされ

たのは溶接熱影響部の脆化であり、そのためには溶接冶金の立場や破壊力学的立場から、どこまで溶接入熱を上げられるか多くの検討が行われ実用化されたものである。

またエネルギープラント関連では昭和 29 年、米国 US スティール社が開発した $80\text{kg} \cdot \text{f}/\text{mm}^2$ 高張力・T-1 鋼を日本ではじめて採用した頃のことを思い出される。これは強度上、構造物の板厚を軟鋼使用時の 2.5 分の 1 にすることが出来る。従って重量も 2.5 分の 1 になり基礎工事も容易ですむことになり多くのメリットがあった。さらにこの鋼は高強度、高延性を有する他、良好な溶接性を有すると言うことで、その後高層ビルや揚水発電用水圧鉄管や本四橋などの長大橋用鋼材として利用されるようになった。

聞く所ではこの T-1 鋼の開発には冶金屋と溶接屋が共同で研究し、溶接性や延性をあまり落さないで強度を高めるため、低炭素で Ni, Cr, Mo, V, B, Cu など合金元素を少量づつ添加し、化学成分や熱処理条件を決定したもので、低温衝撃テストではシャルピー衝撃試験の他模倣型タンクによる低温落下テストを行ない開発した鋼と言われている。日本での製作に当っては技術導入先の溶接技術者の直接の指導のもとで行われた。はじめこの鋼は溶接時の予熱はしない方がよいとのことであった。予熱をすると熱影響部の脆化が大きくなるとの説明であったので常温で溶接を行って見たが X 線、超音波や磁粉探傷の非破壊試験とトレンパテストの破壊試験の結果、マイクロクラックが数多く発見された。予熱なしと言う指示の裏付けはこの鋼の連続冷却変態曲線より低炭素バーナイト組織がくずれるからのようであるが、日本のような高湿度地域では水分を除去するためにも予熱が必要であることがわかった。従って高過ぎる予熱温度も注意する必要があった。さらに溶接棒のフラックスのベーキングや乾燥にも注意を拂ったのは言うまでもない。急きょベーキング炉や乾燥炉を設け、また持歩く溶接棒の保温ケースも必要となり、工事のおくれを取戻すため徹夜の連続であった。圧力テストも無事終了完成した時の喜びはこの上なかった。その後、約 30 年無事故で寿命を全うしたことを書きそえる。

しかし、一方研究所では溶接部の脆性破壊テストや低サイクル疲労テストなど新施工法の安全性の確認試験が行われたことは言うまでもない。私も何回もその溶接タンクの非破壊試験を行ったが、ある時背広のままタンクに上ってズボンの尻を破いた苦笑すべき思い出もある。当時は高張力鋼使用のはしりであって、その後も適正予熱温度範囲の決定、突合せ部の角変形や目違いの許容値、

*原稿受付 平成 2 年 10 月 1 日

**正 員 石川島汎用機械株式会社 Ishikawajima
Mass-Produced Machinery Co., Ltd.

疲労強度特性の把握など広範囲の確実実験やモデルタンクによる破壊テストなどの確認テストを実施して実用に供され、この種塔槽類では日本において90数%シェアを占めることが出来た。

次に1953年頃より私は軟鋼板の焼入れの研究をやったことがある。これは船のハルプレートを曲げる時、線状加熱焼き曲げ法と言う技術があり、種々の温度に加熱されるのでその衝撃特性を調べたことがあった。焼き曲げた板の他、再現熱処理として種々の温度に加熱冷却を行って0°Cのシャルピー衝撃値を求めて見た。それは通常4~6kg・m/cm²しかないものが、ある温度範囲で加熱冷却したものが引張り強さは上がり、しかも0°Cのシャルピー値が20kg・m/cm²にも改善されることを発見した。キルド鋼、セミキルド鋼、リムド鋼で加熱温度範囲は異なるがいずれの鋼も強度、靱性の改善が見られた。そこで前述の如く軟鋼板の熱処理の研究を多少系統的にやって見たわけである。世の中では軟鋼など焼入れや焼入れ・焼もどしなどしてどうゆう積りなのかと笑う人々が居たが、しばらくしてソ連でも寒冷地向にリムド鋼の熱処理に関する研究データが出た。

私も意を強くして研究を続け、溶接試験も行ってみた。普通のアーク溶接を行っても継手強度や靱性などそれ程、低下することもなく十分使用出来るものと思われた。そしてこの軟鋼の熱処理では焼もどしマルテンサイト組織にはならないが組織の微細化と形態の変化による所が大であり、微細化には窒化アルミニウムの析出状態に大いに関係することがわかった。研究所長に報告した所、それでは故意に窒素とアルミニウムを多く添加してはどうかと言う話になった。実験炉で溶解・製造・熱処理を行って先づ0°Cでのシャルピー衝撃試験を行った。ハンマーが鈍い音をして止った。30kg・m以上の吸収エネルギーである。共に実験をしていた皆んな感激した。その後IN鋼と称し、種々の研究が始まった。しかしながら溶接をするとその継手の靱性がかなり低下した。これは溶接継手部の窒化アルミニウムの固溶に起因すると考え、

Ti, B, Nb, Beなど窒化物安定元素の添加を試みた。改良に改良を加えて高張力鋼にこの考え方を入れた。実用化には製鉄会社の絶大なるお力を得て何百と言う溶接構造物を造ることが出来た。

それぞれの専門の人達が一つの目的で種々な角度から安全性、経済性が検討され製作が進められて来た。鋼材に、溶接棒に、施工法に、設計に力を結集して仕事をし て来た。

そして、さらに鉄鋼関係ではTMCP鋼を開発され、より低炭素、より低合金系の溶接性のよい高張力鋼が使用されるようになり石油発掘用リグなど、とくに、北海のような寒冷地向向けに60kg・f/mm², 80kg・f/mm²クラスの鋼材が使用されるようになっている。今日の中東問題が起きるまでは石油の値も安く、北海原油が採算がとれない時代には一時下火であったが最近の如く石油価格が40\$/B(25\$/B以上で採算がとれると言う)にもなれば、また動き出す状態にならう。

今日までの溶接技術では大きなテーマのもと技術の発展を遂げて来た。今日、新素材分野では比較的小型なものが多く、経験の少ない分野の材料であり、セラミックスからFRPなど接合そのものの現象解明も十分でなく、さらに構造用としては破壊理論も未踏野の分野が多く見受けられる。

重厚長大から軽薄短小の時代に入ってから私達が経験したようなテーマがなくなり接合分野の研究開発意欲がなくなっているように見受けられる。今こそ溶接界全体が他の分野と一体となって新分野テーマの発掘が必要な時であらうと思う。今こそ学際・業際的な協力体制が必要ではなからうかと考える。

日本の科学・技術にはすばらしいものがあるが、まだまだ特殊の分野では底の浅いものがあり、これらを埋める地味な努力が21世紀の日本の工業の基盤となさねばならないと信ずる。その一つに新しい接合がある。

皆さんと共に考え、行動して行きたい。