溶接構造物の品質・信頼性とは何か*

下 山 仁 一**

Quality and Reliability of Welded Structures*

by Toshikazu Shimoyama**

1. はじめに

品質・信頼性の基本概念は良い物を安く、早く、ばらつきなくであると思うが、これを支えるのは技術力であり、人であり、その力を総合的に発揮する組織力であると思う。製品の品質向上・信頼性向上は、品質管理手法、信頼性評価・向上手法とその製品を構成・成立させている要素技術力が一体となって成果を出すものであって、やはりそのベースは要素技術力である。溶接構造者の品質・信頼性についても同様であり、溶接の基礎技術力がその基本となる最も重要なものである。

最近、溶接構造用鋼の発達、溶接材料の進歩、各種溶接機器の進歩・発達、溶接士の技量管理システムの完備など基盤となる技術の向上から溶接は易しい技術であると勘違いされている風潮がある。そこで溶接技術とは何かと言う問題を原点に立ち帰って考えることが溶接構造物の品質・信頼性のスタートである。

溶接構造物の品質・信頼性とは何か考えてみると、破損しない、破壊しない溶接構造物を設計・製作することにつきて思う。そこで壊れない溶接構造物を設計・製作するためにどうしたらよいかと言う問題に突き当たる。そのためには、溶接ではどのような現象が生じているか、また溶接した結果どう言うことになっているかを知ることが最も重要である。

このような視点に立って溶接構造物の品質・信頼性確保のポイントは何かを述べたいと思う。

2. 品質・信頼性の計画

溶接構造物の品質・信頼性においても計画段階が極めて重要である。一般に構造物は、概念設計から始まり詳

細設計、材料の仕様決定と購入、製造諸条件及び設備の検討から製造、試験・検査と言う手順で設計・製作される。それぞれの段階で溶接の特性、即ち溶接でどのような事が生ずるかを考えて計画する必要があると同時に設計段階の計画が溶接構造物の品質・信頼性に影響する度合いが極めて高いと言える。

3. 品質・信頼性確保の実際のポイント

溶接構造物の品質・信頼性を確保するためには、溶接構造物に広義の意味での欠陥を作らないことである。ここで言う欠陥とは溶接割れ、溶け込み不良などの溶接欠陥から、溶接部の硬化・脆化及び溶接継手部への応力集中などを含むものであり、出来る限り排除する必要がある。

一般にアーク溶接では、溶接金属部は熔融状態から急速に凝固・冷却され、溶接熱影響部は高温まで急速に加熱され急速に冷却される。この局所的に高温まで急速に加熱され急速に冷却される溶接特有の熱サイクルを受ける事により溶接部で種々の現象が生ずる。

その一つが溶接部の硬化現象である。また、溶接部熱影響部の脆化・軟化もこの溶接部特有の熱サイクルに起因する現象である。また、溶接残留応力と溶接変形の発生もこの局所的に高温まで急速に加熱され急速に冷却される溶接特有の熱サイクルを受ける事により生じる現象である。この様に溶接部に生ずる根本原因は局所的に高温まで急速に加熱され急速に冷却される溶接特有の熱サイクルであり、溶接の諸悪の根源と言える。

この鋼の溶接熱影響部の硬化性は溶接性を表す重要なパラメーターであり、使用鋼材の化学組成の決定に際しては炭素当量 C_{eq} 及び割れ感受性組成 P_{CM} 値を考慮に入れなければならない。その際炭素含有量自体が極めて大切である事を設計段階から考えて置かなければならない。

溶接熱影響部では硬化と同時に脆化が生ずる。特に熱処理をされた鋼即ち調質高張力鋼では局所的に高温まで急速に加熱され急速に冷却される溶接特有の熱サイクルにより母材の熱処理硬化が失われ脆化する。この粗粒域の脆化は母材の主要な合金成分は言うに及ばず鋼自体の溶解・精錬に関連するガス成分、微量不純物成分例えば O, N, P, S 等が影響する。即ち材料には、人間と同様に全て生まれと育ちがあり、溶接熱影響部の粗粒域に鋼自体の生まれがもろに出てくると言える。

この様に溶接構造物に使用する鋼の化学組成の決定に当たっては主要な合金成分のみならず鋼自体の溶解・精錬に関連するガス成分、微量不純物成分も考慮する必要があり、これが溶接構造物の品質・信頼性確保の基本のスタートである。

溶接部の硬化現象は溶接部に強度の高い部分が存在すると言うことである。溶接構造物の破損・破壊を防止する為には溶接部の延性・韌性が重要であるが、一般的には材料の強度が高くなると延性（一様伸び）・破壊韌性値 K_{IC} が低下する。また、破損・破壊の一つである疲労強度についても同様である。

この様に、溶接部特に溶接熱影響部に著しい硬化部が生ずる事は溶接部の一様伸び (a)、破壊韌性値 K_{IC} や疲労

*原稿受付 平成8年3月1日

**正 員 福井工業大学 Member, Fukui University of Technology

強度が低下していることを意味し、溶接欠陥の存在、歪みの集中により溶接構造物の破損・破壊の原因になる事を示唆している。

溶接構造物を製作する場合、その品質・信頼性を確保するために考慮しなければならない最も重要な事は溶接施工時に溶接欠陥を生じさせない事と溶接部の性能を考慮に入れた溶接施工を行う事である。

溶接方法について言えば、溶接の能率だけではなく、それぞれの溶接方法固有の特性を、特に溶接金属の性質に及ぼす特性を考えなければならない。例えば、被覆アーク溶接、及びサブマージアーク溶接の溶接金属は熔融金属と熔融フラックスの化学冶金反応を伴うものである。一例として高い靱性の溶接金属を得るためには溶接金属のガス成分、特に酸素量を低くする必要があるが、そのためには低酸素系溶接棒、塩基性フラックスの使用が必要である。しかし熔融金属と熔融フラックスの化学冶金反応が極めて短時間であるために母材レベルまで低酸素量にする事は難しい。ガスシールド消耗電極式アーク溶接でも同様である。溶接金属の酸素量を母材レベルまで低くする事は極めて難しい。これに対してTIG溶接は基本的には不活性ガスの雰囲気中で金属が溶接凝固する溶接方法であり、高純度の溶接ワイヤを用いる事により高品質の溶接金属を得る事が出来る。一方、電子ビーム溶接は真空中で行う溶接方法であり、また高エネルギー密度の熱源を使用するため1層1パスの深い溶込みの溶接が出来、溶接金属の性質も高品質化が可能である。ここで注意しなければならない事は母材が溶融して溶接金属を形成する事であり、溶接割れやブローホールなどの溶接欠陥が入らないように母材の化学組成を決定しなければならない。

この様に溶接方法の選定に当たっては、溶接の能率だけではなく、それぞれの溶接方法固有の特性を、特に溶接金属の性質に及ぼす特性及び溶接欠陥の防止の観点から考えなければならず、そのためには母材自体の化学組成にさかのぼる必要があり、溶接設計の段階の問題である。

鋼の溶接割れでは低温割れの発生を防止する事が溶接構造物の品質・信頼性を確保するために重要な問題である。実際に溶接施工する場合、低温割れを防止するためには予熱温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ が最も重要な溶接施工条件の一つであるが、具体的にどのような点に注意しなければならないかを述べると、①基本的には溶接線全長を予熱温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 以上に加熱する事、②多層溶接の場合、その溶接が終了するまで溶接線全長を予熱温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 以上に加熱する事、③予熱・パス間温度を維持する領域は溶接線を中心に板厚の約3~4倍以上の範囲が必要である事、④溶接割れが発生しやすいのは溶接部の第1パスであり、板厚・溶接継手の形状・拘束の程度に応じて予熱温度を上げる配慮も必要である。その他にも、低酸素系被覆アーク溶接棒の再乾燥と保管、温度・湿度等の溶接を施工する環境条件についても配慮が必要である。溶接割れや溶け込み不良等の線状欠陥は溶接構造物の破損・破壊に連

なる恐れの高い溶接欠陥であり、その防止のためには適正な溶接条件の選定が必要である。

溶接条件のパラメーターは、溶接電流・アーク電圧・溶接速度であり、それを総括したものとして溶接入熱量がある。溶接入熱量は溶接部の冷却速度・冷却時間に関連するものであり、溶接熱影響部の脆化防止のために溶接入熱量が制限される。

第1パス目は溶接金属の高温割れや多層溶接に於ける溶け込み不良・スラグ巻き込みを防止するためには溶接電流・アーク電圧・溶接速度のそれぞれの適正な値を決定する必要がある。特に、高すぎる溶接電流には注意しなければならない。

溶接環境では、溶接欠陥を生じさせないために気温・湿度・風の影響を考えなければならない。気温が低い場合、例えば、気温の一つの目安として約 10°C 以下の溶接環境では溶接の低温割れが生じやすくなる。この場合の対策としては予熱を行う事であるが、予熱温度の管理目標としては気温が低いと言う事を考え 100°C 以上が望ましい。この様に冬期の溶接施工や寒冷地での溶接施工については注意をしなければならない。また、溶接の低温割れの防止には、低酸素系被覆アーク溶接棒の使用と溶接棒の乾燥は当然であるが、気温と湿度に注意しなければならない。例えば、低酸素系被覆アーク溶接棒の吸湿に及ぼす水蒸気分圧の影響や、溶接棒の吸湿度、水蒸気分圧と溶接割れの関係であり、大気中の水蒸気分圧の影響が極めて大きい。

次に、厚板の溶接、低合金鋼の溶接部に対しては溶接後熱処理が必要である。その効果は、①溶接部に生じる残留応力の除去、②溶接部に生じた硬化部を軟化し、延性・靱性の向上、③溶接部の寸法の安定化等であり、溶接構造物の破損・破壊の防止に対して極めて大きな効果がある。

また、補修溶接について述べるが、補修溶接ほど難しい溶接はなく、補修すればする程溶接部が悪くなる。補修溶接に当たって考えて置かなければならないポイントは、①補修前には溶接欠陥を完全に除去する事、②補修溶接部は本溶接部と同じ継手性能が要求される事、③補修溶接部は拘束度が高く、その施工条件は本溶接以上の厳しい条件、厳しい管理が必要である事等である。

溶接部の検査法には各種の方法があるが、各検査法の特徴即ち長所・短所と同時に各溶接欠陥の特徴、例えば欠陥形状・欠陥の発生時期等を知って置く必要がある。

4. お わ り に

溶接構造物の品質・信頼性とは何かと言う視点で、破損・破壊しない溶接構造物の設計・製作について、考え方とポイントを述べた。

一口で言えば、溶接構造物の品質・信頼性の確保・向上には設計段階から溶接でどう言う現象が生ずるかを考え、溶接欠陥を入れない事を考えて計画し、設計・製作・検査・管理を推進するにつきと思う。