アーク溶接　第 281 話　「溶接技術だより」の執筆を振り返って（2/3）　高木柳平

4)ミグ溶接関係（前話のつづき）

全 24 話にわたって**フェライト系ステンレス鋼の溶接**に関する記事を執筆してきました。改めて以下にそれら目次を振り返り（表 281-1 参照），概略の内容を列記します。参考にして下さい。

掲載したフェライト系ステンレス鋼の溶接に関する記事概要

① フェライト系ステンレス鋼溶接への考え方

フェライト系ステンレス鋼は図 182-01 にみるように，通常のＣ量の場合はＣｒ≧14%がフェライト（一般的には 14~30%Ｃｒ）となる。Ｃ量が低く，Ｃｒ量の多い範囲がフェライト系ステンレス鋼になりγループの外側のもので，高温より常温まで安定なフェライト（α）単相となる。したがって**変態を伴わないため組織の粗大化が起こる。**

この事実がアーク溶接の場合，**溶接金属と熱影響部における組織の粗大化を引き起こすフェライト系ステンレス鋼溶接の最大の弱点となる。**

これらの原理的背景から当初，クロム系ステンレス鋼溶接ワイヤの適用は躊躇された。オーステナイトの力も借りる必要があるのではないか，借りるとなると熱膨張率などの物理的係数がアップしてしまうなどの判断から，最終的には，**フェライト系ステンレス鋼母材の溶接にはフェライト系ステンレス鋼溶接ワイヤで行く**と言うことに決まった。

しからばフェライト系ステンレス鋼溶接金属およびその熱影響部の粗大化による強度保証への対応およびその他の要求特性をどのように保証していくか，と言う課題について**市販のＹ430 ワイヤと比較するなかで，種々検討を繰り返し，現実的に解決がなされた。**

② 検討内容と現実的な改善の要点

ア）溶接ワイヤ：ワイヤ組成元素上の着目点；

Ｃ，Ｓｉ，Ｍｎ，Ｐ，Ｓ，Cr，Cu，Mo，Ｔｉ，Ｎｂ，Ｎとくに（Ｃ＋Ｎ）値に着目

これらの成分元素について種々の角度から検討し，適正値が導き出された。

結果の一例；

Ｃ値抑制，Ｓｉ量アップ，Ｃｒ量増量，Ｎｂ量の適正化などにより耐溶接割れ性，耐食性，溶接作業性など改善　→ 溶接ワイヤへの基本的な考え方；図 183-02 参照

イ）シールドガス組成：Ar+５%O2 とAr+２０%CO2 を比較した結果，Ar+５%O2 が種々の面で優位性あり，**Ar+O2 系を強く推奨**；図 185-01 など参照

ウ）溶接作業性（ワイヤ送給性，スパッタの抑制）の改善：銅メッキ処理、適正表面塗油 に効果確認

エ）溶接部マクロ組織，ミクロ組織の観察結果・コメント　（表 281-1 参照）

オ）クロム系ステンレス鋼溶接部割れ観察結果・コメント（表 281-1 参照）

なお，クロム系ステンレス鋼のミグ溶接にあったては，とくに溶接金属部，熱影響部の粗大化による悪影響に常に着目し，**入熱量を抑制すること**，粒界のぜい化を防止するため**Ｃ量の増加を極力防止するため Ar+O2 系ガスを適用する**とともに，軟鋼系フランジとの組み合わせ時には**軟鋼側を過大に溶融させないこと**および**継手ギャップ間隙の抑制に努めること**などが挙げられる。

表 281-1　フェライト系ステンレス鋼の溶接記事における目次一覧

話 NO.	フェライト系ステンレス鋼の溶接記事のタイトル	備 考；代表的用語など
１８０	はじめに	石川秀男氏の論文引用
１８１	自動車排気系部品とフェライト系ステンレス鋼への理解	エキゾーストマニホールド
１８２	フェライト系ステンレス鋼の金属学的組織の特長と溶接性	フェライト系（Ｃｒ≧14%）
１８３	**クロム系溶接ワイヤ開発への考え方とその実例**	考え方； Ｃｒ系母材の溶接には，Ｃｒ系溶接ワイヤを適用することを基本とする。
１８４	供試溶接ワイヤによる溶着金属の機械的性質・高温耐酸化性における比較	Cr 増量が効果を発揮
１８５	**シールドガスの溶着金属化学組成への影響**	Ａr+CO2 系は避けたい！
１８６	供試溶接ワイヤによる全溶着鋼の耐食性評価とその実施例 補足内容；溶接ワイヤ中のＳｉ量アップによる溶着鋼結晶粒界の改善につ	Ｓｉ量をアップすることにより 溶接割れ，耐食性の双方改善
１８７	フェライト系ステンレス鋼溶接ワイヤの溶接作業性（１／２） ワイヤ中のＳｉ量とビード外観・ビード形状（１／２）	銅メッキ Cr 系 SUS ワイヤ Y308LSi とビード性状同じ
１８８	フェライト系ステンレス鋼溶接ワイヤの溶接作業性（１／２） ワイヤ中のＳｉ量とビード外観・ビード形状（２／２）	銅メッキ，Si 量アップワイヤは Y308LSi と外観スパッタ同様に良
１８９	フェライト系ステンレス鋼溶接ワイヤの溶接作業性（２／２） ワイヤ表面性状と耐スパッター性（その１）	Ｃｒ系溶接ワイヤへの銅メッキ処理； 送給性・溶滴移行性改善される
１９０	フェライト系ステンレス鋼溶接ワイヤの溶接作業性（２／２） ワイヤ表面性状と耐スパッター性（その２）	Ｃｒ系溶接ワイヤ（銅メッキ）に 表面塗油；スパッタ低減効果発揮
１９１	クロム系ステンレス鋼溶接部の代表的な「マクロ組織・ミクロ組織の観察」（その１）	母材 409L(t1.5)同士の突合せ 母材 430（t1.5）同士の突合せ及び 409L パイプと SS400 ﾌﾗﾝｼﾞ の溶接 観察結果；○　硬さ；異常なし
１９２	クロム系ステンレス鋼溶接部の代表的な「マクロ組織・ミクロ組織の観察」（その２）	
１９３	クロム系ステンレス鋼溶接部の代表的な「マクロ組織・ミクロ組織の観察」（その３）	430 系パイプと SHP-270 フランジ 409L 系パイプと SHP-270 フランジ ⇩ ・パイプ側への入熱過多抑制必要 ・フランジ側は異材溶接と考え 対応が必要（本文参照）
１９４	クロム系ステンレス鋼溶接部の代表的な「マクロ組織・ミクロ組織の観察」（３の２）	
１９５	クロム系ステンレス鋼溶接部の代表的な「マクロ組織・ミクロ組織の観察」（その４）	
１９６	**フェライト系ステンレス鋼における溶接部割れとその考え方**	
１９７	５％N2 混合ガス適用のフェライトＳＵＳ溶接部ミクロ組織・硬さとその影響・事例	この試験では５％N2 の悪影響は小
１９８	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（１）	溶接金属のＣ値増加による溶接割れ
１９９	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（２）	コンバータケース溶接金属内割れ 粒界ぜい化割れ ⇩ Ｃ量少，Nb 適量化（本文参照）
２００	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（３）	
２０１	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（４の１）	エキマニ部品溶接部の高温割れ 凝固相会合組織の出現への対策 ⇩ 入熱低減，継手ギャップの密着化 ワイヤ・母材成分に着目など （本文参照）
２０２	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（４の２）	
２０３	フェライト系ステンレス鋼溶接部の溶接割れとその事例（５）	母材部粒界割れ →過大入熱の抑制

5）ＴＩＧ溶接

① TIG 溶接関係の学習内容

主なタイトルと学習した内容を以下の枠内に示します。

＊TIG 溶接とその歩み(3)
＊TIG 溶接の原理，利用法(2)
＊ティグ溶接に関する「アーク物理」およびタングステン電極関係(18)
＊タングステン研磨装置(８)
＊TIG 溶接トーチ理解のために(8)
＊溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み（8)
但し（ ）内数字は話数を示す。

これらのなかで，「アーク物理」関係とタングステン関連についてはそれらの目次を振り返り（表 282-1）特徴的と思われる事項を列記します。参考願います。
なお，タングステン研磨装置についてはタングステン先端部の研ぎ方を含め研磨装置にしっかり反映されていますので是非参考にして，ティグ溶接の効果を引き出すようにして下さい。また，ティグ溶接トーチも一新され，使いやすさ・操作性・軽量化および堅牢性を兼ね備えてきています。トーチ関連部品への理解も深め，ティグ溶接のすばらしさをさらに発揮できるように努めて下さい。

② ティグ溶接に関する「アーク物理」およびタングステン電極関係

第 219 話にティグ溶接の動向について振り返っています。詳細は第 219 話などを参照下さい。
以下に，それらの中から抜粋してティグ溶接の概略の動向を振り返ります。

＊第 211 話では 1982 年～1994 年にわたってみました。

＊ 1995 年～2003 年におけるティグ・アーク物理関係記事の年度別動向をみると，素晴らしい進展を再スタートさせた時期であると感じます。

＊2000 年（平成 12 年度）から通産省工業技術院の重要地域技術研究開発「溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発」のプロジェクトが，2005 年（平成 16 年）までの期間 5 年間で大阪大学接合科学研究所が中心となりスタート。シミュレーションによるアーク溶接技術の高度化を目指した。具体的には，3 つのシミュレーション分科会：**溶接プロセス，金属組織，溶接変形**の各分科会が設置され，とくに TIG 溶接に関連する**「溶接プロセスシミュレーション分科会」**の当時の**構築予定のモデル**は以下の３モデルとなった＊2)，＊3)，＊4)。

▪ **アークプラズマモデル**　▪ **対流モデル（溶融池）**　▪ **溶接プロセスモデル（熱伝導モデル）**

＊前項の国家プロジェクトの中間報告が溶接学誌の Vol.72 No.6 2003　9 月に掲載されている。筆者にとっては，内容的に把握することが難しい部分もあり，説明は省かせていただきますが，少なくともこのような国家プロジェクトが予算２０億円で，関係機関の協同で推進されていることを知ることにより，ティグ溶接をはじめ MAG／MIG 溶接のその後の大いなる進展が図られたものと推察でき，アーク溶接技術に携わる一人として大変嬉しい限りです。

③ 溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み

目覚ましい進歩と発展を遂げた 2005 年以降の足跡を，**溶接学会誌の「溶接・接合をめぐる最近の動向」**欄を参考にさせて頂き振り返ります。動向欄の作成期間は 2005 年~2016 年。動向の概略は「溶接プロセス」と「溶接機器」を主題に作成していますが，紙面の都合で詳細は**第 240 話~247 話**に譲ります。

表 281-2　ティグ溶接に関する「アーク物理」およびその関連記事における目次一覧

話 NO.	「アーク物理」およびその関連記事のタイトル	備　考；代表的用語など
２１０	ティグ溶接に関する「アーク物理」（１）	ティグアークの発生，ティグアークの構成／ 陰極降下-アーク柱・陽極降下 ＊図書；アーク溶接の世界＆溶接プロセスの物理 参照
２１１	ティグ溶接に関する「アーク物理」（２）	アークの構成と電圧分布 Ｖａ＝Ｖｃ＋Ｖｐ＋ＶＡ（図 211-01） ティグ溶接にみるアーク物理記事 （1982-1994）（表 211-01）
２１２	ティグ溶接に関する「アーク物理」（３）	アークの構成とプラズマ気流 ＝温度場と流れ場＝（図 212-04）
２１３	ティグ溶接に関する「アーク物理」（４）	アークプラズマに影響を及ぼす電極 電極形状，電極径（表 213-01）
２１４	ティグ溶接に関する「アーク物理」（５）	アークプラズマに影響を及ぼす電流の影響 アークプラズマに影響を及ぼすガスの影響 ＊純Ａｒ，Ａｒ＋Ｈｅ，Ａｒ＋H2 による影響
２１５	プラズマアーク溶接とその思い出	マイクロプラズマ溶接への思い出（筆者） ＊スイス・セシロン社製 Plasmafix 40 導入 ＊パイロットアーク，メタルノズルなど
２１６	プラズマアーク溶接の基礎と考え方	プラズマアークの発生原理， ＊低電流域では負性抵抗特性（図 216-02） 発生方式；移行式，非移行式
２１７	プラズマアーク溶接の基礎と考え方	パイロットアークの効果 マイクロ・プラズマアーク特性；７％H2 混合は純 Ar に比べ中心部で約５倍の電流密度
２１８	プラズマアーク溶接の基礎と考え方	マイクロプラズマプラズマ溶接の特長 ＊超薄板の溶接が可能，熱集中に優れる タングステン電極の消耗小など
２１９	ティグ溶接に関する「アーク物理」(6) ＊＊1982～2003 ティグアーク動向の振り返り＊＊	ティグ溶接における歩み：溶学誌より抜粋 （表 219-01，表 219-02） ＊1982~2003 ティグアークの動向振返り
２２０	ティグ溶接に関する「アーク物理」(7) タングステン電極の適用と開発における考え方	タングステン電極開発の考え方； ＊電極への要求性能，要求性への考え方 ＊制約条件として考慮すべき事項 1982-2001 タングステン電極開発動向 （表 220-01）
２２１	ティグ溶接に関する「アーク物理」(8) 溶接学会論文集に見るタングステン電極の特性比較試験（１）	仕事関数とは（図 221-01） ＊仕事関数が低いほど，陰極動作温度低い ＊酸化物入りＷ→仕事関数を下げる Ｗ電極の実用化のための特性試験の概要 ＊電流-電圧,アーク起動性,アーク圧力,
２２２	ティグ溶接に関する「アーク物理」（９） 溶接学会論文集に見るタングステン電極の特性比較試験（２）	Ｗ電極の実用化のための特性試験の概要 ＊電極溶断現象，アークと電極先端部変化 特性試験の結果； La2O3(2%)-W, Y2O3(2%)-W ,CeO2(1%)-W および三元系Ｗの各電極が優れる。
２２３	ティグ溶接に関する「アーク物理」(10) 溶接学会論文集 に見る酸化物入りタングステン電極の消耗変形, RIM 形成について（1）	Ｗ電極の特性比較，とくに消耗挙動に重点 ＊電極表面の観察，各電極の断面組織検察 →針状のものと粒状のものに分類できる Ｗ電極の消耗挙動：酸化物の挙動，アークルートの外縁部のすぐ外側にＷ堆積部形成など
２２４	ティグ溶接に関する「アーク物理」(11) 溶接学会論文集 に見る酸化物入りタングステン電極の消耗変形, RIM 形成について（2）	電極消耗とそれにおよぼす作動ガスの影響 →O2 の混入が消耗量を著しく増加させる →O2 の混入によって傘状の“ＲＩＭ”形成さる （図 224-03，図 224-04）
２２５	ティグ溶接に関する「アーク物理」(12) ＊＊第 220 話～第 224 話の要点に関する振り返り＊＊	ティグ溶接の制約条件として考慮すべき条件 ①アークの多数回起動性の劣化，抑制困難 ②酸化物の消失，アーク起動性の劣化 ③酸化性ガスによる著しい消耗と RIM 形成
２２６	ティグ溶接に関する「アーク物理」(13) ＊極性がアーク状態やタングステン電極に及ぼす影響	本文参照； 直流・棒（マイナス），直流・棒（プラス） 交流ティグなど
２２７	＊タングステン電極の規格（JIS Z 3233：2001）について＊	本文参照；(表 227-01，表 227-02，表 227-03) 1990 年の規格＋純Ｗ・ﾄﾘｱ入りＷ・酸化ﾗﾝﾀﾝ入りＷおよび酸化ｾﾘｳﾑ入りＷの４種類が規定 －2001 制定規格にも継続
２２８	タングステン電極の関連規格とタングステン取り扱い上の注意点	本文参照； 県連規格（表 227-04，表 227-045，表 228-01） 電極径と適用電流，突き出し長さの設定など