

= クロム系溶接ワイヤ開発への考え方とその実例 =

前話ではフェライト系ステンレス鋼の母材に対する基本的な理解を、Fe-Cr系二元状態図 および低C-13Cr鋼の410系、17Cr鋼の430系などの発展系統図 さらには1990年当時に入手できた母材の元素分析結果を示す中で説明しました。

本話では引き続きフェライト系ステンレス鋼用の「ミグ溶接ワイヤ (クロム系ステンレス溶接ワイヤ) における開発の考え方とその実例」を紹介したいと考えます。

但し、紹介にあたっては実際に多くの需要家様に大同特殊鋼殿が現行、供給・販売中であるフェライト系ステンレスMIG・MAGパルスワイヤ「WSRシリーズ」に深く関連しますので、現状の詳細を示すことはできません。

ここでは主に代表鋼種「WSR42K」の開発に携わった1990年代当時の、考え方と苦心談のいくつかを筆者の個人的な見解として示すことにします。ご了解ください。

1. 当時 (1990年代初め頃) の「フェライト系ミグ溶接ワイヤ (クロム系溶接ワイヤ) 開発の考え方」

自動車向け溶接材料、溶接技術の開発・改善に携わっていて1980年代半ば~2000年初めに掛けては大変忙しい、充実した業務をこなすことができました。

その背景には常に自動車業界の燃費改善・軽量化などの強い要請に、溶接技術関連が大きく貢献することができたためと考えられます。

具体的には、1980半ばからの亜鉛メッキ鋼板の溶接、1980年代後半からのコンバータおよびエキマニへのフェライト系ステンレス鋼板の溶接および1990年代半ば頃の耐食鋼板 (銅・リン添加鋼) の溶接など、多くの事例が挙げられます。

例えば、亜鉛メッキ鋼板用ワイヤ開発の初め頃は、開発をどの方向にもっていったら良いかすら見定めることができず、当時の溶接研究室長とともにお客様の考えをお聴きし、そのなかで「真鍮用の溶接ワイヤでも作ってみるか」「1,000円/疋以上の溶接ワイヤになっても構わない」などのご意見が出たことを思い出します。

同じようにフェライト系ステンレス溶接ワイヤについても、粗粒化・溶接割れ・強度低下などの背景を少々かじっていたため「オーステナイト系溶接ワイヤでも構わないのではないか」とお客様に話をし、逆にお客様からコンバーター・エキマニ系のミグ溶接はクロム系溶接ワイヤが基本と強い示唆を受け、目を覚めたことを思い出します。

「クロム系溶接ワイヤでフェライト系ステンレス鋼の溶接を行うことが基本」との考えにもとづき、筆者も論文執筆者の一人となって、次の諸点に着目し、ワイヤ組成、製造条件、溶接施工技術に検討を加えた*1)。

① 溶接部が十分な延性を有すること。

- ② 溶接部が母材と同等の高温耐酸化特性を有すること。
- ③ 溶接部が母材と同等の高温強度特性を有すること。
- ④ ビード形状が滑らかで、繰り返し熱応力に対し十分な熱疲労強度を有すること。
- ⑤ 溶接作業性が良好なこと。

以上のねらいにより、自動車排気処理系に最適なフェライト系ステンレスミグ・ワイヤ **WSR42** を新しく開発し **1988年9月以降**、**大手自動車メーカーのエキマニ溶接ライン**で採用されている、と記している。この論文の中から引用して、当時の考えと実際を少々振り返ってみたい。

2. クロム系専用溶接ワイヤ (Wire NO.1 / WSR42) と汎用ワイヤ (Wire NO.4 / Y430) の特性比較

この鋼種は現在では大同特殊鋼殿にて販売されてはいません。**WSR42K**が開発される前の鋼種で、はじめて高温部排気系ミグワイヤとして対応したものです。

① ワイヤ組成

当時入手できた 2, 3 の排気系向け溶接ワイヤの組成を、参考として母材の組成と併せ、**表 183-01** に示します。

**1985～1990年初め頃の自動車排気系に適用された
表183-01 フェライト系ステンレス鋼の母材およびワイヤ組成 (例)**

組成 母材・ワイヤ	C	Si	Mn	Cr	Nb	N	O	備考
母材	0.019	0.58	0.21	18.8	0.47	0.013	0.004	高温系母材
Wire NO.1	0.010	0.45	0.48	18.3	0.40	0.012	0.011	高温系ワイヤ WSR42
Wire NO.2	0.021	0.50	0.35	17.05	0.47	0.013	—	高温系ワイヤ
Wire NO.3	0.015	0.43	0.37	17.3	—	0.013	0.010	低温系ワイヤ
Wire NO.4	0.028	0.46	0.39	16.2	—	0.030	0.014	市販ワイヤ Y430

備考；本表は電気製鋼 第61巻 第4号「自動車排気系マニホールド溶接用フェライト系ステンレスMIGワイヤの開発と適用」より引用、一部加筆して掲載。

以下、ワイヤ組成は高温系（エキマニ系）を対象に記述します。

当時、高温系の対象母材は 442M3 などの銘柄名で自動車メーカーにおいて適用されており、溶接ワイヤ組成もまず「共金」系から出発し、当時市販されていた Y430, Wire NO.2 なども参考にしました。

ワイヤ組成について着目した点は、**182話**の中でも触れたように、(C+N) 値です。

Wire NO.4 の Y430 における (C+N) 値は 0.058 と高く、母材のそれは 0.032, Wire NO.2 も 0.034 と低目に抑えてある。これらに鑑み、当時立ち上げた Wire NO.1 では C を低く抑え、(C+N) では 0.022 と低い値を達成し、排気マニホールド溶接部に要求される延性の向上に対応しました。

また、高温耐酸化性の改善策として表面酸化被膜の安定化をねらいとし、Cr 量を増量させ、かつ高温での強

度を向上するためNbを添加している*2)。

② 延性の向上

前述のようにフェライト系ステンレス鋼溶接部の延性は、その組成中のC、N量に大きく影響されることに着目し、ワイヤ中のC、N量を変化させ、溶接金属中のC、N量との関係において延性を評価した。その試験方法は板厚 $t = 2 \text{ mm}$ 、Nb添加の母材を適用し、200A、20V、50cm/min、Ar+5%O₂ 20l/minの条件で突合せ溶接し、それら溶接継手から反復曲げ試験片を採取、JISZ3126の規格に基づき延性試験を実施。その結果を図183-01に示す。

良好な延性を示すC、Nの関係は $C \leq -3/7N + 0.03$ の領域であることがわかった。

Wire NO.1 ワイヤの母材溶解は、低C、低Nを可能とする溶製法を採用した反面、従来から市販されているY430では一般にC、N量が高く $C \leq -3/7N + 0.03$ を満足しないため、延性を保証するにはやや問題があると推察した。

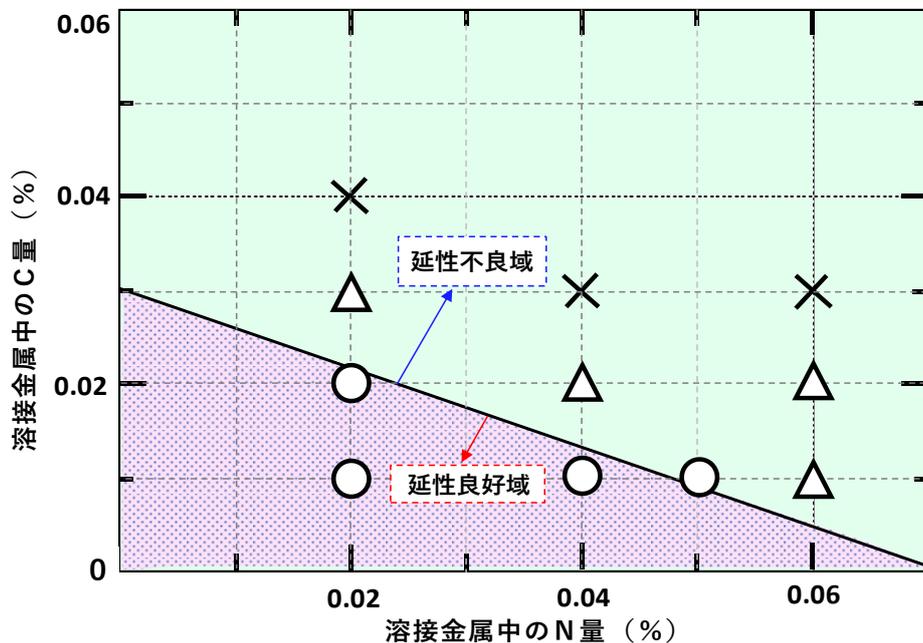


図183-01 突合せ溶接継手の反復曲げ試験による延性の評価結果

備考；良好な延性域は $C \leq -3/7N + 0.03$ として示される。

なお、引用論文には直接記載はされていないが、あらためて筆者としての「フェライト系ステンレス鋼用溶接ワイヤ開発への基本的な考え方」を図183-02に記す。

主な要求性能を、溶接部の品質と溶接作業性の確保の二つに分けた。

1) 溶接部の品質

優劣をつけにくい重要度の高い品質項目が並ぶ。高温強度のレベルアップ、各種耐食性の確保、酸化増量の抑制があり、溶接部の耐割れ性の改善など、重要課題がある。

溶接ワイヤからの主な解決手段は、殆どがワイヤ組成の検討による。C、(C+N)などの低減、またSi量アップによる粒界強化、さらには不純物元素P、Sの低減による凝固割れの防止を目指す。

また酸化増量の抑制にはCr量アップによる対応が効果を発揮でき、高温強度改善には量(wt%)も含めMo、Nbの適量添加に期待がかかる。

2) 溶接作業性

クロム系ステンレス溶接ワイヤは一般的にワイヤ送給性が悪い、スパッター発生が多い、ビード形状が悪いなど課題が多い。

改善のため、ステンレスワイヤへの銅メッキに挑戦し、解決できた。また、割れ問題で見直しを図ったSi量(wt%)はSiをアップすることによりビード形状まで改善できた。

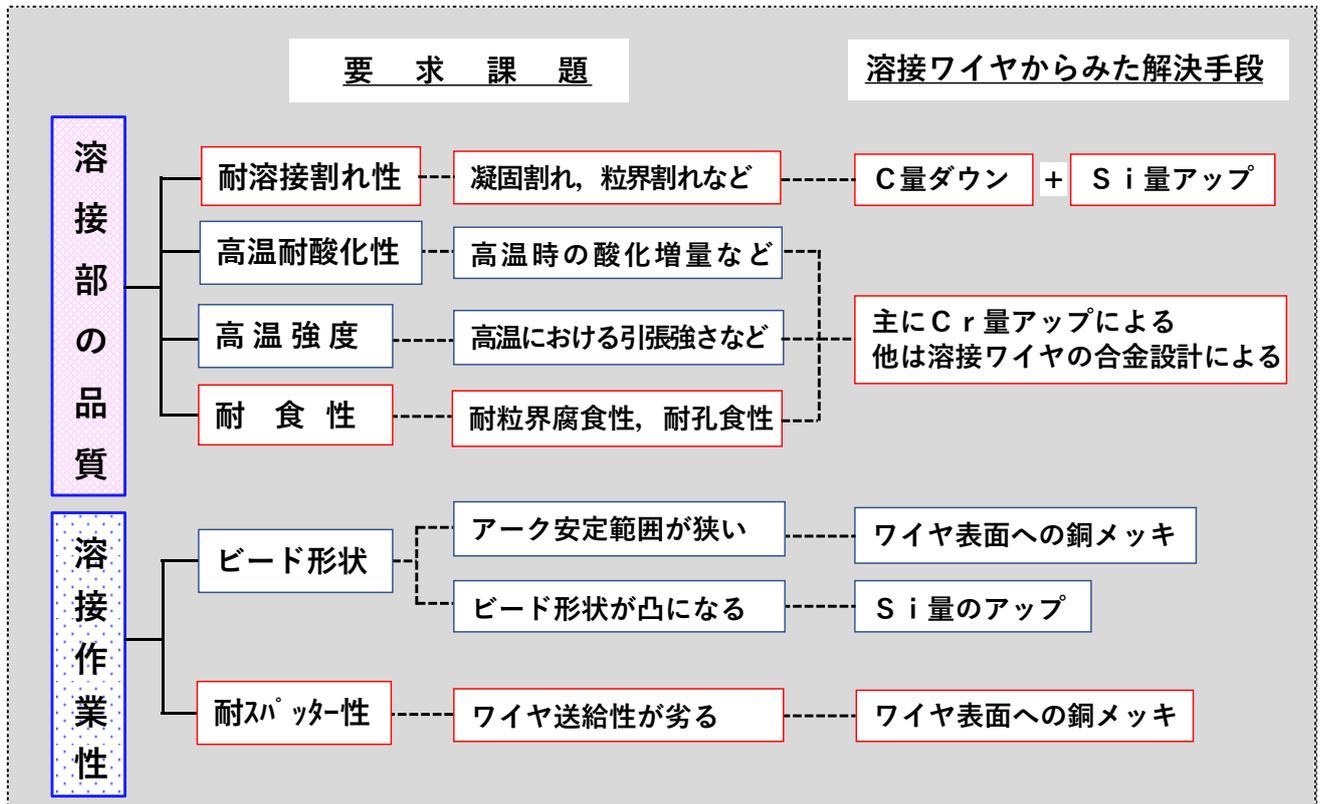


図183-02 フェライト系ステンレス鋼用溶接ワイヤ開発への基本的な考え方

なお、溶接金属中のC、N値に影響を及ぼす主因は母材、溶接ワイヤの各組成であるが、他の要因としてシールドガスの影響が大きい。前項②の結果はAr+O₂系であるためC、N値には大きな影響はないが、Ar+20%CO₂などのCO₂を混合ガスとして適用すると途端にC値が急上昇する。

次話では引き続き、フェライト系ステンレス鋼の溶接(その5)として、高温耐酸化性などに関してY430(Wire NO.4)と専用溶接ワイヤ(Wire NO.1)を比較し説明をします。

以上。

*1) 電気製鋼 第61巻 第4号 p278~284 「自動車排気系マニホールド溶接用フェライト系ステンレスMIGワイヤの開発と適用」 竹之内 優, 竹内宥公, 佐藤竜太郎, 高木柳平

*2) 日本学術振興会; 鉄鋼と合金元素(上)増補版(1971), 1109 (誠文堂新光社)