

＝フェライト系ステンレス鋼溶接における溶接部割れとその考え方＝

自動車排気処理系とくにエキゾーストマニホールドおよび触媒・コンバーターなどのフェライト系ステンレス鋼の溶接に 1980 年代後半から 2000 年初めに掛けて携わり、本話の主題でもある「溶接部割れ」に遭遇し、それらの原因を研究所各位の協力を得るなかで追求し、対応をはかってきました。

当時を振り返りながら、薄板・薄肉材のフェライト系ステンレス鋼の溶接部割れ事例の一端を挙げ、考え方を含め説明します。

すでに第 180 話～第 195 話にわたって、フェライト系ステンレス鋼溶接部のぜい化、溶接割れにつながる事象についてはその都度説明をしてきました。以下に簡単におさらいをしておきます。

- ① 第 182 話； フェライト系ステンレス鋼の金属学的組織の特長は、変態点をともなわないため、溶接熱によって結晶の粗大化、粗粒化が生じやすく、ぜい化する。
また、フェライト相は体心立方からなるために C、N の拡散速度が速く、Cr との炭窒化物を生成しやすくなるので、Cr の有効利用を阻害し、粗大化した粒界に析出し脆くなり、割れを生じやすくなる。
溶接割れに影響を及ぼす成分元素は C、N および C+N であり、 $C+N < 0.01\%$ にまで低減した高純度鋼が前提になる。
なお、私見を述べれば実際のフェライト系ステンレス鋼の溶接にあたっては $C+N < 0.01\%$ を満足させることはかなり難しく、これらの値の上限は適用対象によって管理しなければならない。
- ② 第 183 話； 良好な延性を示す一例として C、N の関係は $C \leq -3/7N + 0.03$ の領域であることを反復曲げ試験結果より示した。
- ③ 第 185 話； シールドガスの影響は大きく母材・溶接ワイヤにおいて C、N 値を低減しても Ar+20%CO₂ 系ガスの場合には CO₂ のアーク熱による分解で溶接金属中の C 量アップが懸念される。溶接では、適用シールドガスに Ar+O₂ 系ガスを使用せず、Ar+CO₂ 系ガスを適用すると C (%) の上昇に遭遇し、高温割れなどを招く恐れが生じます。極力、Ar+O₂ 系ガスの適用を心掛けるよう注意を促した。詳しくは [図 185-01](#) を参照されたい。
- ④ 第 186 話； 溶接割れに影響を及ぼす他の成分元素としては Si および Nb がある。
Si は 1.0% と含有量が多くなると、粒界の共晶析出物、例えば Nb の炭窒化物はなくなり、NbN を核とした粒状の炭窒化物だけとなり溶接割れの減少に寄与できることが判明、併せて高温強度に寄与する適量の Nb の含有を安全なものとした。

⑤ 第 187 話～第 188 話；

フェライト系ステンレス鋼溶接における横断面マクロ組織の事例を溶接作業性と関連づけて説明。SUH409L, SUS430 などの溶接部において溶接金属、熱影響部における結晶粒の粗大化とその実際を紹介した。

⑥ 第 191 話；母材 SUH409L 同士および SUS430 同士の突合せ溶接部におけるマクロ・ミクロおよび硬さ試験結果の紹介

⑦ 第 192 話；母材 SUH409L パイプと軟鋼 SS400 フランジの T 字すみ肉溶接におけるマクロ・ミクロおよび硬さ試験結果の紹介

ここで観察できたことは、

ア) パイプ薄肉材に入熱が片寄り溶け込み深さが過大になっている。

イ) パイプ薄肉材への入熱過多は、フェライト粒の粗大化と併せて粒界酸化にもつながりやすいのではないかと推測した。

ウ) 軟鋼側の境界でやや硬さが高い部位が認められた。

⑧ 第 193 話～第 194 話；

母材 430 系パイプ(t1.5)と SHP 270 フランジの T 字すみ肉溶接におけるマクロ・ミクロ組織観察と測定硬さ

ここでの着目点は、フェライト系 SUS と軟鋼の溶接は「異材溶接と考え対応する」ことが必要で、軟鋼系フランジ側へのフェライト系ステンレス溶接ワイヤによる溶接に際してはむやみに深い溶け込みは好ましくないと指摘。

⑨ 第 195 話；母材 409L 系パイプ(t2.0)と SHP 270 フランジの重ねすみ肉溶接におけるマクロ・ミクロ組織観察と測定硬さ

この事例も異材溶接と考えることが必要。SHP270 側溶接金属部で硬度が HVmax=370 と高い値を示した。溶接金属部のミクロ観察では粗大フェライト柱状晶の成長がみられ、一方、粒界を含め低炭素マルテンサイトの針状組織が現われている。

以上がフェライト系ステンレス鋼溶接部のぜい化・溶接割れに関する記述のおさらいです。

軟鋼・低合金鋼の溶接割れと比べると類似点多々あるが、フェライト SUS 独自の事象が認められる。フェライト系ステンレス鋼の溶接割れの分類を、技術図書*1) を参考にし、筆者なりの解釈も入れて表 196-01 に示す。

はじめに、大分類として「高温割れ」と「低温割れ」に分類しました。

但し上記の分類で、フェライト系ステンレス鋼における種々の要因で発生する粒界に沿って割れる「粒界割れ」について、判定に迷いながら「高温割れ→凝固割れ」および「低温割れ→ぜい化割れ」の双方に分けてみました。了解下さい。

1) 高温割れ

高温割れは溶接金属が凝固する際、粒界にP、Sなどの低融点化合物が存在し、これに熱収縮に伴う応力が働いて開口する現象である。

また、凝固中に発生する割れはいずれも固相線近辺で結晶間の液相が少量になった時期に起こるものとしている。それは液相が多い時期では仮に一度割れが発生しても残っている多くの液相がこれに流入し、「充てん」してしまうために割れとして残らないのである*2)。

このような考えから高温割れの発生場所はおもに、溶接金属内の粗粒化した粒界に発生する**凝固割れ**と、溶接金属から熱影響部組織につながって割れる**液化割れ**のふたつに分類できる。

2) 低温割れ

第 155 話以降説明しました普通鋼・低合金鋼に関する溶接割れ、とくに低温割れの場合は、発生時期は溶接後しばらく経過した後、発生場所は母材熱影響部であり、またそれらの発生三大要因は溶接熱影響部における硬化組織、溶接金属からもたらされる水素量およびルート部などの溶接部応力集中の影響であると要約できた。

フェライト系ステンレス鋼溶接部の低温割れの場合はどうでしょうか。

すでにマクロ、ミクロおよび硬さの各試験例にも示したように、低温割れに関係する指標として**硬さ**に着目すると母材組成では**Cr量の増加による硬さのアップ**、軟鋼フランジとの異材溶接における**Cの影響**などがクロム炭化物の生成を促し、**溶接境界部**、**熱影響部の硬度上昇**をもたらしている。

また、ミクロ組織的には種々のケースで**低炭素マルテンサイトの熱影響部結晶粒界**における生成が悪影響を及ぼしていることを把握できた。

低温割れの主な要因は、**表 196-01**にみるように粒界における炭化物、窒化物析出によるぜい化割れ、溶接部でC、N、Oが増加した場合のぜい化によるものおよびCrリッチ相の析出による475°Cぜい性が挙げられている。

なお、上記の窒化物の析出およびNの悪影響などが指摘されるなかで、N₂ガスの溶接部への影響について、シールドガス中に故意にN₂ガスを5%混合させ溶接部への影響の有無を調査した。一例を次話にて紹介します。

また、遅れ割れの主因となる水素ぜい化割れについても炭素鋼の低温割れと同様、その影響は粗粒化するフェライト鋼のため留意が必要になる。

さて、**冷却速度の溶接部硬さへの影響**についてはどのように考えて行けばよいか。

一例としてt 4 mm, SUS430 母板にビードオン溶接後の冷却条件の違いによる溶接部硬さ調査を行った。結果を**図 196-01**および**図 196-02**に示す。冷却条件が空冷時HV=165~235、水冷(急冷)時HV=163~220と大きな変化はなく、かつ急激な硬さ上昇もみられない。

むしろ冷却速度の影響は、例えば銅当金による急冷などの影響は、上記高温割れの項で述べた凝固中の残留液相の急冷による充てん不足を生じ易く、この種の凝固割れにつながりやすいのではないかと筆者は考えます。

表196-01 フェライト系ステンレス鋼の溶接割れの種類

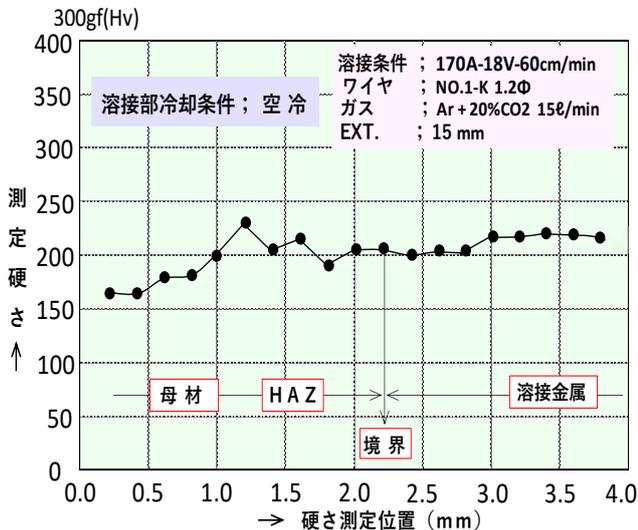
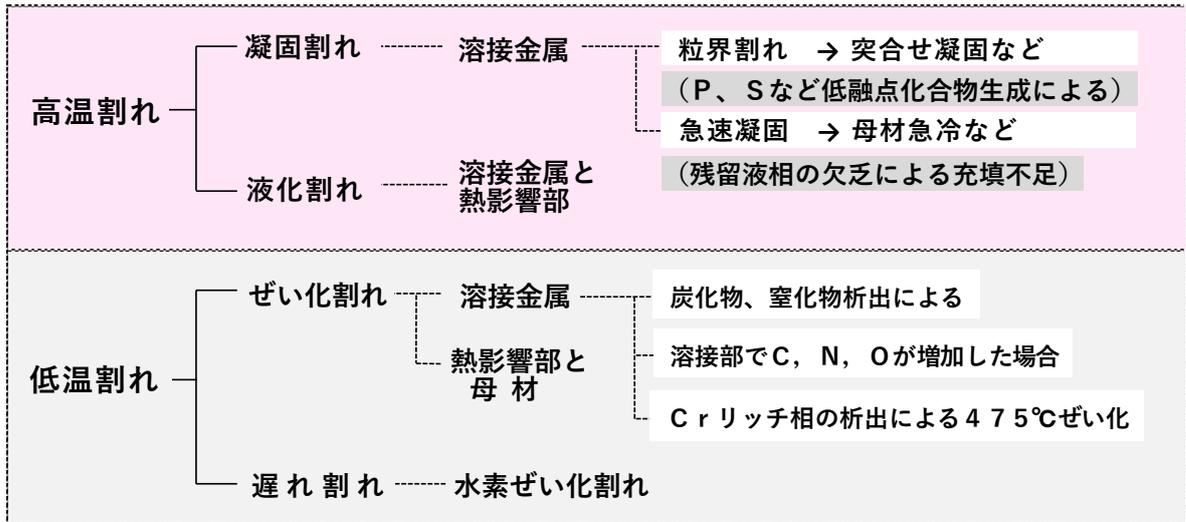


図196-01 溶接部冷却条件の硬さに及ぼす影響；適用母材；SUS430×t4
 溶接方法；ビードオンプレート法による 溶接法；短絡マグ溶接

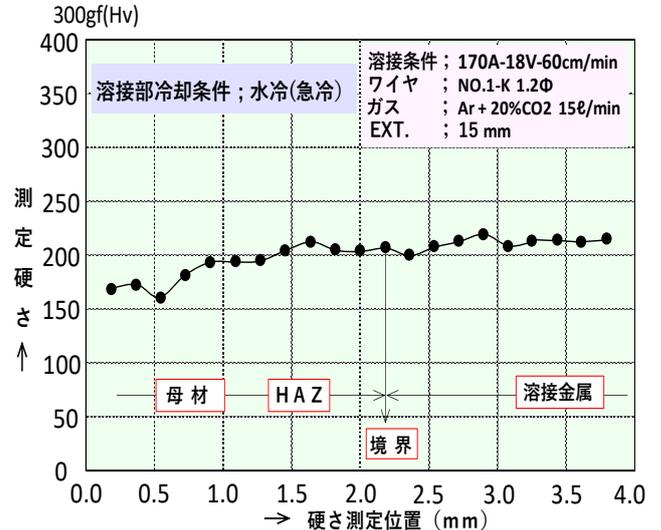


図196-02 溶接部冷却条件の硬さに及ぼす影響；適用母材；SUS430×t4
 溶接方法；ビードオンプレート法による 溶接法；短絡マグ溶接

以上。

* 1) ; ステンレス鋼の溶接 西本和俊ら 産報出版 溶接・接合選書 11 p 82 および p 98~100 より抜粋
 * 2) ; 溶接冶金学 松田福久著 日刊工業新聞社 p 146 より抜粋