

溶接金属の腐食挙動と組織形成



研究ノート

井上 裕 滋*

Corrosion behavior and formation mechanism of microstructures in weld metals

Key Words : Corrosion, Microstructure, Weld metal, Stainless steel

1. はじめに

近年の地球環境保全や資源・エネルギー問題から各種装置および構造物の一層の高機能化、高効率化が求められ、また、材料に対する要求特性の多様化、使用環境の苛酷化はますます厳しくなっている。様々なプラントや構造物の構造材料として、オーステナイト系ステンレス鋼は、耐食性のみならず、耐熱性や加工性、溶接性にも優れることから広く用いられている。しかしながら、オーステナイト系ステンレス鋼でも、種々の環境下において何らかの形で腐食を受け、腐食による事故が発生した場合、社会的にも経済的にも重大な損害を与えることになる。また、このような腐食の発生には、構造設計や加工方法の不適、局部的な環境の不適合、材料選定の不適など多種多様な要因がある。特に、過去の腐食事例において、溶接金属が腐食の起点や進展部分になってきたことは明らかであり、溶接金属の耐食性確保が構造物全体の使用性能の点から極めて重要となってくる。

一方、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属では、凝固およびそれに続く固相変態によって最終的な組織の特徴が決定される。そのため、1970年代後半以降、オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の凝固・変態挙動が活発に検討され¹⁻⁴⁾、形態の異なるフェライトおよびオーステナイトの形成過程

が凝固モードとして分類・系統化されてきた¹⁻³⁾。そして、溶接金属の腐食挙動は、これら組織的特徴に大きく影響を受けることが知られている。以下、オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の腐食挙動と凝固モードに関する研究の概略を紹介する。

2. オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の組織形成と凝固モード

図1⁵⁾にFe-Cr-Ni三元系においてFe量を70%一定とした平衡状態図(Cr-Ni擬二元系平衡状態図)を示す。オーステナイト系ステンレス鋼は、Cr/Ni比により、初晶オーステナイトで凝固するものと初晶フェライトで凝固するものが存在する。また、オーステナイト単相で凝固するものを除き、凝固後にフェライトからオーステナイトへの変態が起こる。このような組成による相変化の特徴は、最終的な室温組織を決定するものであり、図2¹⁾に模式的に示すような4つのタイプに分類され、凝固モードとして体系化されてきた。なお、各凝固モード(A, AF, FA, F)の出現組成範囲を図1に併せて示す。

初晶オーステナイト凝固する溶接金属では、オーステナイト単相で凝固するAモードと凝固末期のセル境界にフェライトが僅かに晶出するAFモードがある。一方、初晶フェライト凝固するFAモードの溶接金属では、初晶フェライトの凝固末期のセル/デンドライト境界にオーステナイトが晶出する。このオーステナイトは凝固後の冷却段階で初晶フェライト中へ成長するため、室温組織では初晶凝固したフェライトがセルもしくはデンドライトの中心部に残存したフェライト+オーステナイトの二相組織となる。また、同じく、初晶フェライト凝固するFモードの溶接金属では、フェライト単相で凝固した後、冷却段階でフェライト粒界からオーステナイトが析出してフェライト粒内へ成長し、フェライト+



* Hiroshige INOUE

1958年9月生

大阪大学大学院工学研究科溶接工学専攻
博士前期課程修了(1985年)現在、大阪大学 接合科学研究所 教授
博士(工学) 溶接冶金学

TEL : 06-6879-8671

FAX : 06-6879-8671

E-mail : h-inoue@jwri.osaka-u.ac.jp

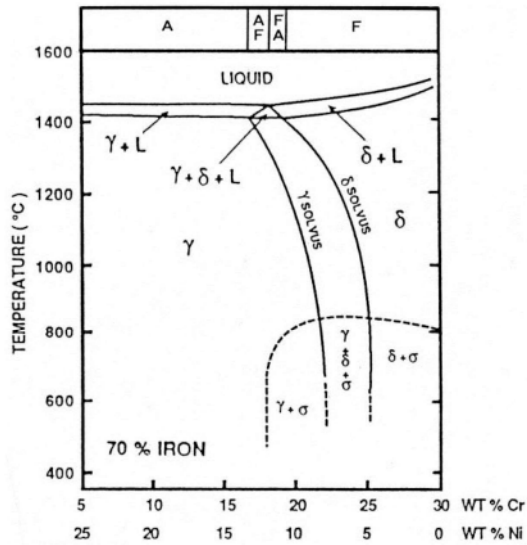


図1 Fe-Cr-Ni 擬二元系平衡状態図 (70%Fe) ⁵⁾

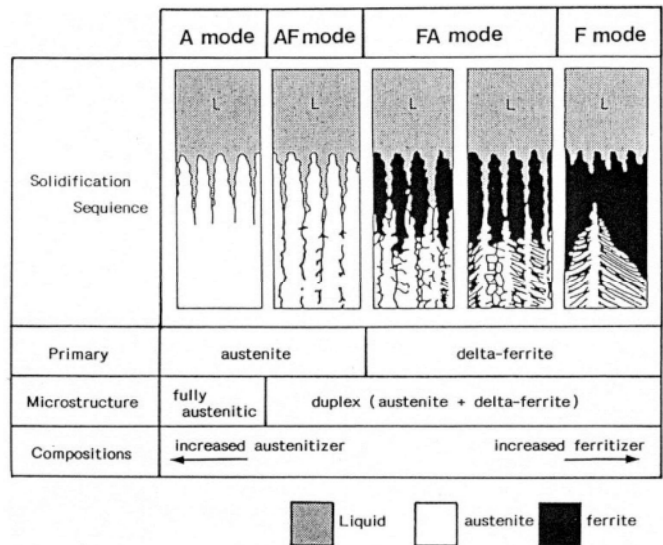


図2 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の凝固モード ¹⁾

オーステナイトの二相組織となる。

3. 初晶オーステナイト凝固の場合の腐食挙動

初晶オーステナイト凝固するAモードおよびAFモード溶接金属の腐食（孔食）発生・進展挙動を図3⁶⁾に示す。孔食は凝固セルの中央で発生し、オーステナイト相を進展する。初晶オーステナイトで凝固する成分系では、耐食性に有効なCrやMoの分配係数が1以下であるため、凝固が開始するセル中央において、CrやMoの濃度が母材よりも貧化する⁷⁾。孔食は、このような凝固偏析に起因して発生・進展し、このような孔食発生を回避するには、溶接後に固溶化熱処理を施して元素分配を均一化するか、高耐食溶接材料を使用することが推奨される。

4. 初晶フェライト凝固の場合の腐食挙動

初晶フェライト凝固するFAモードの溶接金属の

孔食発生・進展挙動を図4⁶⁾に示す。孔食はフェライト/オーステナイト界面のオーステナイト側で発生し、オーステナイト相を進展する。そして腐食が進行していくとフェライトのネットワークのみが残存した形態となる。このような腐食挙動の要因としては、図5に示すように、フェライト/オーステナイト界面でのCr炭化物の析出に起因して界面近傍にCr欠乏層が形成することが挙げられる。したがって、フェライト量の増加、すなわち、Cr炭化物の生成サイトであるフェライト/オーステナイト界面面積が大きいほど、耐孔食性は低下する。一方、フェライトの形態も耐孔食性に影響を及ぼす。FAモードの溶接金属では、図6⁸⁾に示すように、凝固セルもしくはデンドライトの中心部に形態の異なるバミキュラーフェライトもしくはレーシーフェライトが残存する。このようなフェライトの形態の違いは、凝固段階で晶出したフェライトとオーステナイ

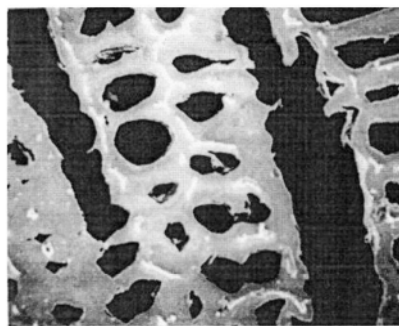


図3 初晶オーステナイトで凝固する溶接金属の孔食 ⁶⁾

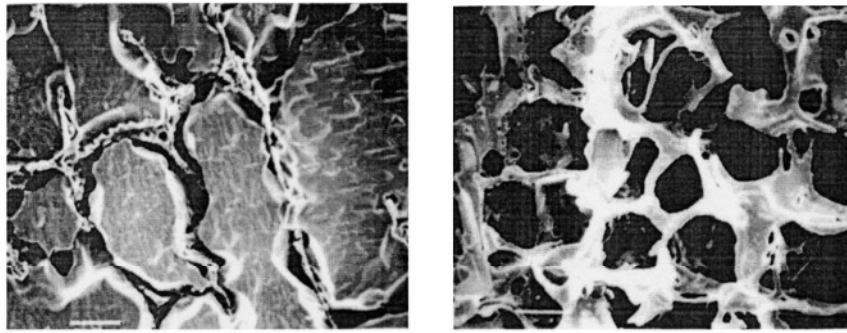


図4 初晶フェライトで凝固する溶接金属の孔食⁶⁾

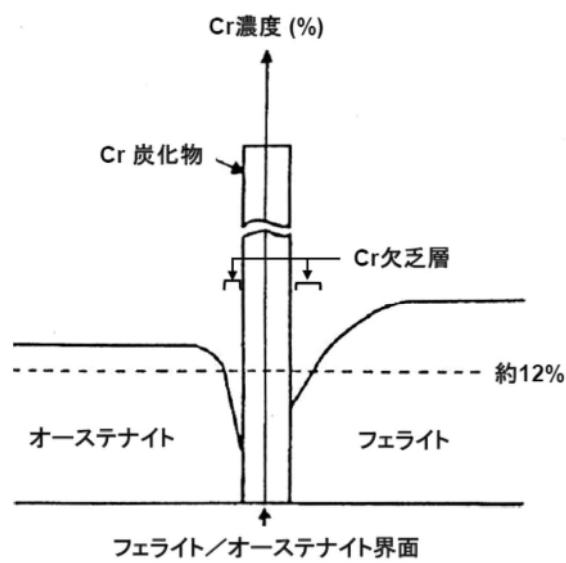


図5 フェライト/オーステナイト界面のCr濃度の概略図で凝固する溶接金属の孔食

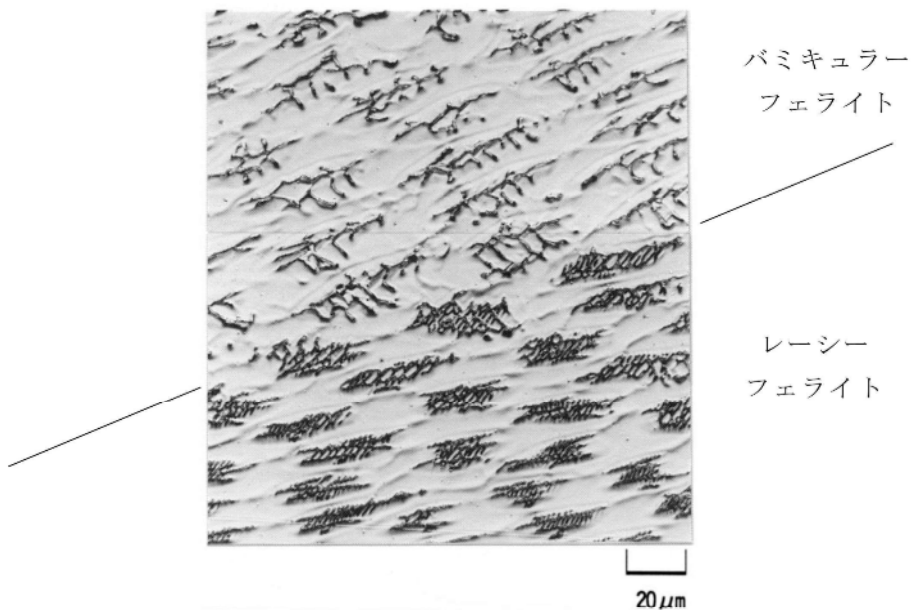


図6 FAモードで凝固する溶接金属組織⁸⁾

ト間の結晶方位関係に起因し、凝固後冷却段階でのオーステナイトの初晶フェライト中への成長形態の違いによって決定される⁸⁾。すなわち、バミュキュラーフェライトはオーステナイトと特定な方位関係を満たさないが⁹⁾、レーシーフェライトはオーステナイトとの間にK-S関係を満たす⁹⁾。したがって、バミュキュラーフェライトよりも、オーステナイトとK-S関係を満たすレーシーフェライトの方が、フェライト/オーステナイト間での結晶学的な格子整合性は良好で、界面エネルギーが小さいために、フェライト/オーステナイト界面でCr炭化物は析出しにくくなり、耐孔食性は良好となる¹⁰⁾。同じように、Fモードで凝固する溶接金属では、フェライト単相で凝固後にオーステナイトが固相析出するため、フェライト/オーステナイト間での格子整合性は良好となる¹¹⁾。したがって、FAモードよりもフェライト量が多くなるにも関わらず、フェライト/オーステナイト界面でCr炭化物は析出しにくく、耐孔食性は良好となる¹⁰⁾。

5. おわりに

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属の腐食は、組成、すなわち、マイクロ組織の形成挙動により、その挙動や機構が異なる。したがって、これら腐食損傷に対して、その防止策を考えるには、マイクロ組織の形成機構を理解・把握した上でのマイクロ組織制御が重要となる。このような観点から、組織制御と

耐食性向上に関する研究をさらに推進していきたいと考えている。

参考文献

- 1) N. Suutala, T. Takalo, T. Moisio: Metallurgical Transactions A, Vol.10A (1979), 512-514
- 2) N. Suutala, T. Takalo, T. Moisio: Metallurgical Transactions A, Vol.10A (1979), 1183-1190
- 3) J. A. Brooks, A. W. Thompson, J. C. Williams : Welding Journal, Vol.163 (1984), 71-83
- 4) J. C. Lippold, W. F. Savage : Welding Journal, Vol.58 (1979), 362-374
- 5) G. L. Leone, H. W. Kerr: Welding Journal, Vol. 61 (1982), 13-21
- 6) 中尾, 西本: 第67回腐食防食シンポジウム資料 (1987), 1
- 7) 井上, 小関, 大北, 藤: 溶接学会論文集, Vol.15 (1997), 77-87
- 8) H. Inoue, T. Koseki, S. Ohkita, M. Fuji : Science and Technology of Welding and Joining, Vol.5 (2000), 385-396
- 9) 井上, 小関, 大北, 藤: 溶接学会論文集, Vol.15 (1997), 88-99
- 10) 井上, 小関, 藤, 西本: 溶接学会論文集, Vol.19 (2001), 100-113
- 11) 井上, 小関, 大北, 藤: 溶接学会論文集, Vol.15 (1997), 292-304

