ユーザー、エンジニアリング会社ファブリケーター及び材料メーカーの四者が協力して、用途の拡大及び経済的な溶接方法の確立など、利用技術面で一層の進展をはかる必要がある。

参考文献

- 1) B. Steigerwald: 18Cr-2Mo Ferritic Stainless Steel, Climax Molybdenum Co., (1973).
- 2) ステンレス協会規格 ステンレス鋼溶接施工基準(附属書) 高純度

フェライト系ステンレス鋼の溶接施工要領, ステンレス協会(1981) 改定版発行予定

- 3) E-Brite 26-1, Performance report, Aico Vacuum Metals, (1974)
- 4) 吉村, 広瀬: 高純度フェライト系ステンレス鋼の精錬技術の進歩と SHOMAC RIVER 26-1 および SHOMAC 30-2 について, ステンレス, 22-10 (1978) 2-9
- 5) Welding of E-Brite 26-1, Aico Vacuum Metals, (1973)
- 6) K.E. Dorsch: Weldability of new Ferritic Stainless Steel, Weld. J., 50-9 (1971), 410S-418S
- 7) 井川, 中尾, 西本, 寺島: 高純度 30Cr-2Mo 鋼の溶接部のぜい化, 本誌, 48-12 (1979) 40-45

8. 高純度フェライト系ステンレス鋼の溶接 —溶接部の靱性について*

中 尾 嘉 邦**

Welding of High Purity Ferritic Stainless Steels— Toughness of Weld Zone*

by Yoshikuni Nakao**

高純度フェライト系ステンレス鋼には種々のタイプがあるが、ここでは 18Cr 系鋼, 26Cr 系鋼, 30Cr 系鋼に大別し、その各々の溶接部の靱性について述べることにする。

まず 18Cr 系鋼についてであるが、図 8.1 に示すように、(C+N) 量を減少させることにより 17% Cr 鋼の TIG 溶接金属部の靱性が改善されることが報告されている¹⁾。18% Cr 鋼の TIG 溶接金属部についても C 含有量を 0.01% から 0.003% に低減することにより遷移温度の大幅な低下が示されている²⁾。C, N と親和力の大きい Ti, Nb, Zr などの安定化元素を適正量添加すると、溶接部の靱性を確保する上で有効であることが指摘されている¹⁻³⁾。例えば (C+N) 量がほぼ 200 ppm の 17% Cr 鋼では、0.1% 程度の Ti 添加で、また 0.01~0.02% C を含む 18% Cr 鋼については、 $[Ti] = \{Ti - (4C + 24/7 N)\}$ なるパラメータを採用した場合、 $[Ti]$ が 0.1~0.2% で TIG 溶接金属部の靱性が最良となることが示されている²⁾。その他 17Cr-1Mo 鋼^{6,7)}、18Cr-2Mo 鋼^{8,9)}、19Cr-2Mo 鋼¹⁰⁾についても同様な指摘がな

されている。しかし、安定化元素の過剰添加はかえって溶接部の靱性を低下させることも報告されている^{2,3,10)}。安定化元素の適正配合量としては、例えば 18Cr-2Mo 鋼については (C+N) 量の 8~10 倍の Nb の添加が良いとされている⁹⁾。安定化元素を過剰に添加した場合、Ti に関しては金属間化合物¹¹⁾あるいは Ti-rich 相⁸⁾の析出にともなうぜい化、Nb についてはレーベス相の生成にともなうぜい化¹⁰⁾が指摘されているが、その機構の確立に向けては今後の研究が必要であろう。最近、19Cr-2Mo-0.3Nb 鋼の溶接金属部の靱性改善には、図 8.2 に示すように、REM の添加が有効であることが見出されている¹²⁾。本鋼の溶接金属部のぜい化の主原因は溶接雰囲気中から混入する窒素、酸素があげられる(図 8.3)。N によるぜい化は Cr の窒化物の析出に、また O によるぜい化は 1μ 以上の酸化物介在物の増加によるものと考えられる。REM を添加すると、19Cr-2Mo-0.3Nb 鋼の溶接金属中の N 及び O 含有量は図 8.4 に示すように低下し、そのため靱性が改善される。その他 18Cr-2Mo 鋼について Al の微量添加が溶接金属部の靱性向上に有効であることが示されている⁹⁾。18Cr 系鋼の HAZ の靱性については主に 19Cr-2Mo 鋼を用いて検討されてい

*原稿受付 昭和55年12月20日

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Eng.,
Osaka University

図 8.1 17Cr 商用鋼の溶接金属部の vT_E に及ぼす (C+N) 量の影響

図 8.2 19Cr-2Mo-0.3Nb 鋼の溶接金属部の vT_E に及ぼす REM ならびにシールドガス中の空気の影響

図 8.3 19Cr-2Mo-0.3Nb 鋼の溶接金属部の vT_E に及ぼす O 及び N 量の影響

る。溶接金属部と同様、再現 HAZ 材（ピーク温度；1350℃）においても（C+N）量の増加にともない vT_{rs} が上昇する¹³⁾。安定化元素である Ti, Nb, Zr を適正量添加した場合の靱性改善効果は本鋼の再現 HAZ 材についても認められる¹⁰⁾。0.008% C 及び 0.003% N を含む 19Cr-2Mo 鋼の場合、Ti, Nb, Zr の適正値はそれぞれ約 0.3%, 0.4%, 0.044% である¹⁰⁾。この値以上の安定化元素が添加された場合には靱性は劣化する。0.004% C, 0.0085% N 及び 0.14% Nb を含む 19Cr-2Mo-Nb 鋼の再現 HAZ 材について靱性の評価がなされている¹⁴⁾。図 8.5 に示すように、700℃ 近傍ならびに 1150℃ 以上の温度に再加熱されると靱性が劣化している。700℃ 近傍のぜい化に対しては、固溶 N 及び C が析出物を形成すること、また 1150℃ 以上のぜい化に対しては母材に形成されていた析出物が一たん固溶し、冷却過程で再析出することがその原因であるとする説が示されている¹⁴⁾。19Cr-2Mo-0.1Nb 鋼（0.003% C, 0.012% N）の 1250℃ × 5 min 水冷材を種々の温度で 10 分間時効した場合には、

図 8.4 19Cr-2Mo-0.3Nb 鋼の溶接金属部の N, O, C 量に及ぼす REM の影響

図 8.5 19Cr-2Mo-Nb 鋼の再現 HAZ 材の靱性と再加熱サイクルの関係

図 8.6 30Cr-2Mo 鋼の溶接金属部の vT_{rs} 及び上部棚エネルギーに及ぼす O 及び N 量の影響

600℃～650℃で硬さがピーク値を持つことが報告されており、これは素地と整合性をもって析出した (Cr, Mo, Nb) N に起因する現象とされている¹⁵⁾。19Cr-2Mo 鋼に Nb が添加された場合には Nb の炭窒化物が形成されるので、上述の現象は1250℃に加熱中に Nb (C, N) が固溶し、600～650℃に保持中に (Cr, Mo, Nb) N とし再析出したため生じたものと考えられる。19Cr-2Mo-Nb 鋼の1300℃×5 sec 焼入れ材を600℃で1, 3, 10 秒時効した場合、焼入れ材にくらべ遷移温度が上昇する結果も示されている¹⁶⁾。これらのことより、19Cr-2Mo-Nb 鋼の HAZ のぜい化現象は Cr の窒化物の析出にともなう現象と推察される。しかし 19Cr-2Mo 鋼の再現 HAZ 材のぜい化原因については固溶の C, N ならびに $M_{23}C_6$ の析出であるとの説^{10), 13)}もあり、今後の検討が必要である。

つぎに 26Cr 系鋼についてであるが、溶接部の靱性に関しては中村により詳細な解説¹⁷⁾がなされているので、ごく一般的な事項について簡単に紹介する。26Cr 系鋼の溶接金属部の場合も C, N, O などの不純物元素量が減少すれば靱性は向上することならびに Nb, Ti の安定化元素を添加することにより靱性が改善されることは 18Cr 系鋼とはほぼ同様である。しかし Cr 量が増加するにしたがって、良好な靱性を得るための (C+N) 量に対する制限はより厳しくなる¹⁸⁾。また Cr 量が増加すると 475℃ ぜい性¹⁸⁾に対する配慮も必要となる¹⁹⁾。26Cr 鋼の C, N によるぜい化については、粒界に析出する炭窒化物及び粒内に析出する板状の Cr_2N によることが最近明

らかにされている²⁰⁾。

30Cr 系鋼の溶接部の靱性に関しても 26Cr 系鋼とはほぼ同様なことが云える。すなわち、29Cr-2Mo 鋼の結果によれば、(C+N) 量に減ずることにより靱性は向上する¹⁾。また安定化元素である Nb が溶接金属部の靱性に及ぼす効果についても、17 ppm C, 62 ppm N を含む 30Cr-2Mo 鋼を用いて検討されており、0.1～0.2% Nb の添加が靱性をもっとも向上させること、Nb 添加量が 0.4% になるとかえって靱性が劣化することが明らかにされている²¹⁾。空気の混入にともなう 30Cr-2Mo 鋼溶接金属部のぜい化現象についても検討されている²²⁾。その結果によれば、図 8.6 に示すように、溶接金属部の靱性は N 及び O により影響を受けるが、特に N の影響が大きい。この N によるぜい化は板状の Cr_2N が素地の壁開面である {100} 面上に析出することならびにその析出によって素地が硬化することによるものと考えられる。30Cr-2Mo 鋼の場合も 19Cr-2Mo 鋼の場合と同様、REM の添加により靱性を改善することができる²³⁾。30Cr-2Mo 鋼の HAZ の靱性は一般に母材よりも劣化する²³⁾。この原因としては 475℃ ぜい性などが考えられる。そのほか板厚あるいは試験片の寸法が大きくなるほど溶接部の靱性が劣化するので²³⁾注意が肝要である。

参 考 文 献

- 1) 吉岡, 岡, 木下, 竹田, 小野, 大橋: 低 C, N, フェライト系ステンレス鋼溶接部の靱性および粒界腐食性, 鉄と鋼, 63-9 (1977), A135-138
- 2) 門, 山崎, 山内, 矢部: 18%Cr 鋼の溶接部の靱性におよぼす合金元素の影響, 鉄と鋼, 63-5 (1977), 883-893

- 3) 吉岡, 竹田, 小野, 大橋; Ti 含有極低炭素 17%Cr フェライト系ステンレス鋼の溶接部の靱性および耐食性に及ぼす Ti 含有量の影響, 鉄と鋼, 62-11 (1976), 367
- 4) 門, 山崎, 山内, 矢部, 鈴木; 18Cr 鋼の靱性におよぼす Ti, Mn および析出物の影響, 鉄と鋼, 62-11 (1976), 369
- 5) 諸石, 富士川, 小泉, 小西, 庄司, 秋山; 含フェライト系ステンレス鋼の溶接性および溶接部の靱性について, 鉄と鋼, 64-4 (1978), 399
- 6) 坂本, 山内, 矢部, 山崎, 上野; SUS434 の溶接部靱性および延性におよぼす合金元素の影響, 鉄と鋼, 64-4 (1978), 396
- 7) 財前, 山崎, 坂本, 山内, 矢部; 434 系ステンレス鋼の溶接部靱性および延性におよぼす Ti, Nb の影響, 鉄と鋼, 65-11 (1979), 523
- 8) J. M. Sawhill, Jr. and A. P. Bond; Ductility and Toughness of Stainless Steel Welds, Weld. J., 55-2 (1976), 33S-41S
- 9) The Welding of 18%Cr-2%Mo Ferritic Stainless Steels with Low Interstitial Element Contents, Do. IX-1148-80 (1980)
- 10) 三浦, 高祖, 樽谷, 大森; 19Cr-2Mo フェライト系ステンレス鋼の靱性に及ぼす安定化元素の影響, 鉄と鋼, 66-4 (1980), 539
- 11) E. R. Buchanan and L. A. Tarshis; Evaluation of Iron—Chromium Alloys containing Titanium as a Major Alloying Addition, J.I.S.I., 211-5 (1973), 204-208
- 12) 中尾, 西本; 高純度 19Cr-2Mo 鋼の溶接金属のぜい化と REM 添加によるその改善, 溶接冶金研究委員会資料, WM-749-80 (1980)
- 13) 三浦, 高祖, 大森; 18Cr-2Mo フェライト系ステンレス鋼の靱性に及ぼす C, N の影響, 鉄と鋼, 66-4 (1980), 538
- 14) 岡崎, 増井, 井上, 財前; 19Cr-2Mo-Nb 鋼の溶接熱影響部特性について, 鉄と鋼, 66-4 (1980), 542
- 15) 谷野, 安保, 小松, 水沼, 黒沢; 19Cr-2Mo-Nb フェライト系ステンレス鋼の時効硬化および脆化の機構, 鉄と鋼, 66-4 (1980), 541
- 16) 安保, 谷野, 水沼, 小松, 黒沢; 19Cr-2Mo-Nb フェライト系ステンレス鋼の時効に伴う機械的性質の変化, 鉄と鋼, 66-4 (1980), 540
- 17) 中村; ステンレス鋼の溶接性, 鉄と鋼, 63-5 (1977), 872-882
- 18) J. J. Demo; Weldable and Corrosion-Resistant Ferritic Stainless Steels, Metall. Trans. 5-11 (1974), 2253-2256
- 19) B. Pollard; Ductility of Ferritic Stainless Weld Metal, Weld. J., 51-4 (1972), 222S-230S
- 20) J. F. Grubb and R. N. Wright; The Role of C and N in the Brittle Fracture of Fe-26Cr, Metall. Trans. A, 10A-9 (1979), 1247-1255
- 21) 広瀬, 斉藤, 森村, 黒沢; 高純度 30Cr-2Mo 鋼の溶接性について, 鉄と鋼, 62-11 (1976), 372
- 22) 中尾, 西本; 高純度フェライト系ステンレス鋼における溶接金属のぜい化と REM 添加によるその改善, 化学機械溶接研究委員会資料, CP-80-28 (1980)
- 23) 下平; 高純度フェライト系ステンレス鋼(2), 日本金属学会会報, 16-3 (1977), 157-171

——溶接学会講座・講習会及び学習図書案内——

〔I〕 講座・講習会

1. 溶接技術基礎講座
溶接関連分野技術者及びフレッシュマン等を対象に溶接工学と技術の基本をわかり易く解説する。
毎年6月, 東京で開催
2. 溶接工学夏季大学
溶接専門技術者を対象に溶接工学の基礎講義と工場見学を実施する。
毎年7月, 大阪(阪大)で開催(大阪大学溶接工学教室後援)
3. 工高教員のための溶接工学夏期講座
工業高校教員のための研修講座(実習を含む)
毎年7月又は8月大阪(阪大)で開催
4. 溶接技術講習会
一般技術者を対象に, プロフェッショナルな課題について講義及び討論を行う。
年度内1~2回, 東京及び大阪で開催

〔II〕 学習用図書

1. 新版溶接技術入門
溶接施行技術者をこころざす人のための入門書
溶接学会編, 産報出版発行 定価 1,600円

2. 溶接工学の基礎(仮題)

大学・高専及び他専門分野技術者向溶接工学の標準教科書

溶接学会溶接教育委員会編, 丸善発行
(昭和56年度中に発行予定)

3. 溶接学会技術資料—JWS Bulletin—

溶接技術者向け, 溶接技術に関する資料を逐次刊行する。

生々文献サービス発行

No. 1 鋼材の溶接割れ(低温割れ) 定価 3,000円
鈴木春義 著

No. 2 鋼溶接部の熱ひずみ脆化(レビュー)
定価 3,000円

日本溶接協会H.E.S委員会編

No. 3 溶接冶金レビュー(上) 定価 4,000円

No. 4 同 上 (下) 定価 4,000円

溶接学会溶接冶金研究委員会編

No. 5 溶接部の超音波探傷試験ハンドブック

定価 2,000円

国際溶接学会(I.I.W.)編(日本語版)