高クロム鋼溶接部のクリープ強度特性と 実機溶接配管の内圧曲げクリープ試験*

屋口正次^{*1}, 緒方隆志^{*1}, 三浦直樹^{*1}

Creep Strength Property of High Chromium Steels Welded Parts and Bending-Internal Pressure Creep Test of Actual Welded Pipe

Masatsugu YAGUCHI^{*2}, Takashi OGATA and Naoki MIURA

^{*2} Central Research Institute of Electric Power Industry,
2-6-1 Nagasaka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 240-0196 Japan

Creep tests on 9Cr and 12Cr steels welded joints were conducted under internal pressure conditions as well as uniaxial stress conditions. For both materials, failure occurs at fine grain HAZ region under long time region, which means type IV damage. SEM observation was carried out on internal pressure test specimens of the welded joints. It was found that density of creep voids is higher in mid-thickness of the HAZ portion than that in outer and inner surfaces. Furthermore, a recently developed demonstration test facility, which can load bending forces and internal pressure on actual boiler pipes at high temperatures, is briefly introduced in this presentation.

Key Words: High Chromium Steels, Welded Joint, Creep, Service Load, Bending-Internal Pressure

1. 緒 言

高クロム鋼(9Cr鋼, 12Cr鋼)は600°C級 USC ボイラで多用されているが, 最近の研究により, 数万時間以上の長時間領域で溶接部の強度が母材と比べて低下する傾向のあることが明らかになってきた⁽¹⁾⁽²⁾. この高クロム鋼溶接部の強度には, 応力多軸性が影響を及ぼしていることが指摘されている⁽¹⁾⁽²⁾.

そこで, 本研究では, 9Cr鋼および12Cr鋼溶接継手に関して多軸応力(内圧)下でクリープ試験を実施しその強度特性を評価すると共に, 肉厚方向のボイド分布を観察した. さらに, 大径管に対して実機条件を模擬した条件下でクリープ試験を実施することのできる実証試験設備を開発した. 本論文では本実験設備の概要についても報告する.

2. 内圧クリープ試験

2.1 試験方法 内圧クリープ試験片は, 9Cr鋼(火STBA28), 12Cr鋼(火SUS410J3TP)とも, 外径

60 mm, 肉厚10 mm, 軸長350 mmの円管であり, 長手方向に2本の溶接線を有する. 試験温度は625°Cと650°Cであり, 各温度で圧力を2~6レベル設定した. 試験結果の整理には, 式(1)で定義される等価応力を用いた.

$$\sigma = p(D/2t - y) \dots \dots \dots (1)$$

ここで, p は試験圧力, D は試験片外径, t は試験片肉厚, y は内圧データを単軸下へと換算するための定数であり, 0.5の場合が平均径式に該当する.

2.2 試験結果 長手溶接継手の国内最長試験データ(約1万時間)を含む9Cr鋼, および, 12Cr鋼の内圧クリープ試験の結果をそれぞれ図1, 2に示す. なお, 図1, 2中の破線は, SHC委員会⁽³⁾による99%信頼下限線である. 本試験においては, 9Cr鋼, 12Cr鋼とも, すべてHAZ細粒域破断(タイプIV破壊)であり, き裂は試験片表面ではなく肉厚中央部において優先的に生じていた.

試験片軸に垂直な断面で, HAZ細粒域肉厚方向のボイド個数密度を測定した一例を図3に示す. ボイドは上に凸の分布となっており, 内外表面近傍と比べて肉厚中央での個数密度は約1桁高い値を示している. 本観察結果より, 外表面の観察結果に基づき余寿命を評価する際には表面と内部の違いに十分留意する必要

* 原稿受付 2009年9月10日.

^{*1} 正員, (財)電力中央研究所(〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1).

E-mail: yaguchi@criepi.denken.or.jp

Fig. 1 Internal pressure creep test results of 9 Cr steel welded joint

Fig. 2 Internal pressure creep test results of 12 Cr steel welded joint

があることが示唆される。

3. 実証試験設備の開発

3・1 設備の開発 当所は高クロム鋼等の火力高温機器に対して予測、検査、監視の3つの手法の組み合わせによる設備診断高精度化の研究(メンテナンストライアングル)を進めている。これらの手法の妥当性を実証するためには、実機の負荷状態を再現したコンポーネント試験の実施が必須である。

そこで、実機配管に対して高温下で内圧と曲げ荷重を重畳負荷することのできるクリープ試験設備“実機コンポーネント寿命評価実験設備 BIPress”を開発した⁽⁴⁾。試験体は最大で外径1 m、軸長8 mの直管が設置可能であり、曲げ荷重は4 000 kN、内圧は50 MPaを負荷することが可能である。

3・2 実機配管による内圧曲げクリープ試験 実機仕様の9 Cr 鋼溶接配管試験体(図4)を用いて、

Fig. 3 Voids distributions from outer to inner surface along center line at HAZ under internal pressure test (12 Cr steel, 650 C, Pressure 14 MPa, 8 329 h)

Fig. 4 9 Cr welded pipe attached to BIPress

650°Cで内圧曲げクリープ試験を約3 000時間連続実施した。4点曲げ試験が適切に実施されていること、内圧が長期間にわたって一定に保たれていることを確認すると共に、試験体の変位やひずみの変化をオンラインで計測した。

4. 結 言

9 Cr 鋼および12 Cr 鋼長手溶接継手は、内圧クリープ条件下では試験片表面ではなく肉厚中央部で損傷は優先的に生じる。さらに、大径管を用いて内圧曲げクリープ試験を実施することのできる実証試験設備を開発した。

文 献

- (1) Ogata, T., Sakai, T. and Yaguchi, M., Development of Damage Assessment Methods for Mod. 9Cr-1Mo Steel

- Weld Joints, *CRIEPI Research Report*, Q06002 (2006).
- (2) Ogata, T., Sakai, T. and Yaguchi, M., Clarification of Damage Condition and Development of Damage Evaluation Method of a Mod. 9Cr-1Mo Steel Longitudinal Welded Tube under Internal Pressure Creep, *CRIEPI Research Report*, Q07002 (2007).
- (3) Yoshida, K., Nakai, H. and Fukuda, M., Regulatory Review Results on Allowable Tensile Stress Values of Creep Strength Enhanced Ferritic Steels, *Proceedings of CREEPS*, CREEP 2007-26512 (2007-7).
- (4) Yaguchi, M., Miura, N., Ogata, T. and Sakai, T., Development of Component Test Facility "BIPress: Bending & Internal Pressure on Real Structural Samples", *CRIEPI Research Report*, Q08001 (2008).
-