

1.2.5.6 共通技術 高クロム鋼の開発と材料特性評価法の整備(1/3)

○研究開発の背景／目的

火力発電プラントで実績があり、かつ高速炉プラント用構造材料に要求される熱的特性(高熱伝導率、低熱膨張)と高温強度特性のバランスに優れる高クロム鋼を開発し、設計評価に必須な、材料強度基準等、材料特性式及び強度評価手法を整備する。

○実施内容

(1)FBR構造用12Cr鋼候補仕様の選定、(2) 候補仕様材の材料強度基準暫定案の策定、(3) 材料強度基準暫定案における基礎材料特性(熱膨張係数、縦弾性係数等)の基準値化の提案、(4) 候補仕様材の材料特性式(暫定案)策定、(5) 溶接材料候補仕様を含む溶接施工法提案、(6) 溶接部評価法暫定案策定

1.2.5.6 共通技術高クロム鋼の開発と材料特性評価法の整備 (2/3)

フェーズⅡ期間中の研究成果

FBR構造用12Cr鋼候補仕様の選定

火力で実績のある12Cr鋼をベースに使用対象温度域や材料特性への要求の違い等を勘案し、固溶強化元素(W及びMo)についてFBR用に適切な組成範囲を暫定した。適用部位により暫定した材料仕様を表1に示す。WとMoの組成量を $\langle \text{Mo当量} = \text{Mo} + 0.5\text{W} \div 1.5\text{wt}\% \rangle$ とし600°C以上の高温域でより効力を発揮するとされるW組成量を抑えた。候補仕様材と火力用12Cr鋼の高温熱時効後の衝撃値比較では、後者に比較して前者の低下が明瞭に抑制されることなどを確認した(図1参照)。

表1 FBR用12Cr鋼候補仕様化学組成 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	N	sol.Al	Cu
0.10	≤0.1	≤0.7	≤0.01	≤0.01	≤0.8	10.0	1.0	≤0.40	0.10	≤0.08	0.03	≤0.005	≤0.10
-0.16						-11.0	-1.6		-0.22		-0.06		

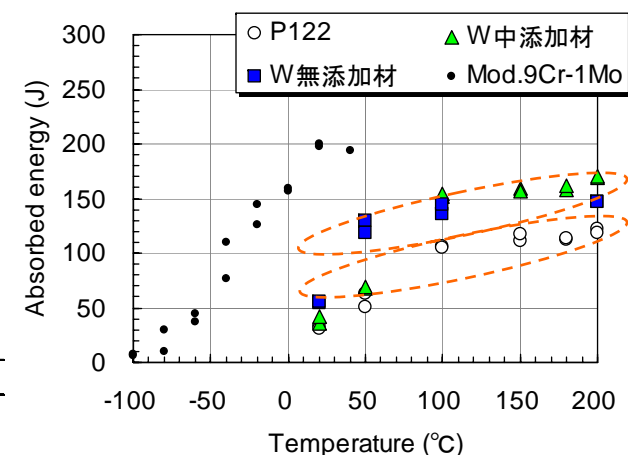


図1 600°C-12,000時間時効後衝撃試験結果

候補仕様材の材料特性式(暫定案)及び材料強度基準暫定案の策定

新規開発鋼の短時間材料特性と同系鋼(化学組成が近接し金属組織が同類)の豊富な材料特性データに基づき、新規開発鋼の長時間特性が適格に類推できることを踏まえ、並行して収集した火力用既存12Cr鋼や改良9Cr-1Mo鋼の材料特性データベースを活用して、FBR用12Cr候補仕様材の材料特性式を暫定した。暫定した特性式、クリープ強度、挙動、疲労強度、弾塑性関係式等を用いて、候補仕様材に関する材料強度基準暫定案を策定した。

材料強度基準暫定案における基礎材料特性(熱膨張係数、縦弾性係数等)の基準値化の提案

欧米も含め従来の材料強度基準においては、熱膨張係数、縦弾性係数、熱伝導率等の基礎物理化学特性は参考値としての取扱いであった。しかし、特に過渡熱応力の取扱いが重要なFBRプラントにあっては、設計合理化が進められるに従い、こうした特性値の信頼性が強く求められるようになってきている。そこで、今回の材料強度基準暫定に当たり、こうした基礎物理化学特性に関する国内外の材料試験標準を定めた規格や鉄鋼メーカなどで採用している先端的な試験技術を調査、分析し、取得データに試験技術に依存するばらつきが含まれ難い「標準試験方法」を選定、同手法により複数ヒートについて候補仕様材の物理化学特性値を取得、データベースを構築するとともに、統計評価に従い「基準値」を暫定、掲載した。

溶接材料候補仕様を含む溶接施工法提案及び溶接部評価法暫定案策定

FBR用12Cr鋼候補仕様材について、火力材や改良9Cr-1Mo鋼を参考に、溶接材を含む施工法(暫定案)を示した。提案施工により、高クロム鋼溶接継手で問題となる熱影響部(HAZ)細粒部(軟化部)形成抑制を試みたが、幾分軽減されたものの回避されなかった。しかし、これまでの継手材料試験では同部に起因して発生する、時間依存強度(クリープやクリープ疲労)の極端な低下現象、所謂、“Type-IV”損傷の発生はFBR温度域(500~550°C)では、認められていない。また、溶接継手のクリープ疲労強度評価法について、改良9Cr-1Mo鋼を対象に考案された2要素モデル(継手を材料特性が異なる、母相と溶接金属の2相構成部として取り扱う方法)により保守的に評価可能であることを示した。

1.2.5.6 共通技術 高クロム鋼の開発と材料特性評価法の整備(3/3)

○設計への反映

- (1) 材料基礎物性を含めた材料強度基準(暫定案)の提示
 - (2) 材料特性式(暫定案)の提示
 - (3) 溶接部強度評価法(暫定案)の提示
- によるプラント構造設計への反映

○今後の課題

- (1) 添加元素を中心とする最終化学組成、熱処理条件の確定
- (2) 上記に最適な溶接材料を含む溶接施工法の確立
- (3) 最終仕様についての長時間域を含む材料データベースの構築と蓄積データを踏まえた材料強度基準及び溶接部強度評価法の策定

○ 公開資料

[サイクル機構－原電共同研究報告書]

- 1) JNC TY9400 2001-026 高温構造設計高度化研究 (平成12年度共同研究報告書)
- 2) JNC TY9400 2002-025 高温構造設計高度化研究 (平成13年度共同研究報告書)
- 3) JNC TY9400 2003-001 高温構造設計高度化研究 (平成14年度共同研究報告書)
- 4) JNC TY9400 2004-025 高温構造設計高度化研究 (平成15年度共同研究報告書)
- 5) JNC TY9400 2005-012 高温構造設計高度化研究 (平成16年度共同研究報告書)

[外部発表]

- 1) 安藤、若井、加藤、青砥、「高速炉構造設計に用いる標準的12Cr鋼材料物性値の検討」、日本材料学会、第53期学術講演会論文集(2004)140-141.
- 2) 若井、青砥、「高クロム鋼の高温破壊靱性試験と同鋼製高速炉配管の破壊評価」、日本機械学会M&M2004材料力学カンファレンス講演論文集(2004)85-86.
- 3) M. Ando, T. Takahashi, T. Wakai, et al., "Development of High Chromium Steel FBR Grade," 第8回超鉄鋼WS(2004).
- 4) 高橋、他、「高クロム鋼の析出挙動に及ぼす高温長時間保持及び負荷の影響」、日本鉄鋼協会第148回秋季講演会、材料とプロセス、Vol. 17, No. 6(2004)1408.
- 5) 安藤、他、「MX強化元素の最適化による高速炉用高Cr鋼開発(1) 高Cr鋼の機械的性質に及ぼすV, Nbの影響」、日本鉄鋼協会第148回秋季講演会、材料とプロセス、Vol. 17, No. 6(2004)1047.
- 6) T. Wakai, K. Aoto, M. Sukekawa et al., "The Present Status of Development of High Chromium Steel for FBR," Proc. MPA Seminar, Vol. 2(2004)28. 1-28. 14.
- 7) 高橋、他、「高クロム鋼の時効に伴う靱性低下に及ぼすLaves相構成元素の影響」、日本鉄鋼協会第150回秋季講演会(2005)
- 8) 青砥、若井、他、「長寿命高速炉プラント実現に向けた構造材料開発の現状」、日本保全学会学術講演会要旨集(2005)369-374.