

圧延及び熱時効した FeCu モデル合金の脆化と磁気特性

Magnetic Properties of FeCu Model Alloys Embrittled by Cold-rolling and Thermal Aging

鎌田康寛 高橋正氣 荒克之 菊池弘昭 小林悟
岩手大学工学部附属金属材料保全工学研究センター

Yasuhiro KAMADA*, Seiki TAKAHASHI*, Katsuyuki ARA*, Hiroaki KIKUCHI*,
and Satoru KOBAYASHI (Member*)

This study demonstrates the possibility of applying magnetic methods to pressure vessel surveillance at nuclear power plants. Charpy impact test and magnetic hysteresis-loop measurement were performed on Fe-1.0wt%Cu model alloys. The ductile-brittle transition temperature and the coercivity increased by cold-rolling and thermal aging. This correlation originates from an increase in the dislocation density and a formation of Cu precipitates.

Keywords: Magnetism, Coercivity, Embrittlement, Dislocation, Precipitation

1. 緒言

原子力発電プラントの運転期間延長に伴い、高経年化した機器構造物の維持管理や健全性評価に関する技術開発が求められている。特に、原子炉圧力容器の照射脆化を把握するために行われているシャルピー衝撃試験（破壊試験）について、炉内に装荷された監視試験片の不足が懸念されている。その対策技術として、磁気的非破壊評価技術を提案する。

圧力容器鋼は中性子照射により転位ループや Cu 析出物などの損傷組織を形成する[1]。これらの格子欠陥の形成により脆化が進み、延性-脆性遷移温度 (DBTT) が上昇する。これらの照射損傷と磁気的物理量の相関を明らかにするための模擬実験として、本研究では FeCu モデル合金を冷間圧延及び熱時効することで、転位組織や Cu 析出物を含む照射脆化を模擬した試料を作製し、シャルピー衝撃特性と磁気特性の関係を調べた。

2. 実験方法

Fe-1wt%Cu 試料を 850°C で 10 時間均一化処理を施した後、水急冷して過飽和固溶体を作製した。この試料を 500°C で熱時効した際の、マイクロビッカース硬度と時効時間の関係を Fig. 1 に示す。時効時間とともに

Cu 析出物の形成により硬度が上昇し、約 1000 分後にピークをとった。本実験では硬度が最大となる 1000 分間熱時効した試料を機械特性・磁気特性評価用の試料とした。また、転位組織の効果を検討するため、均一化・水急冷後、圧延率 40% で冷間圧延した試料を作製した。

3 種類の試料（未処理材、圧延材、熱時効材）の機械特性評価として、硬度測定およびシャルピー衝撃試験を行った。衝撃試験は 2mm-V ノッチのシャルピー試験片 (JIS Z 2202) を用い、-30°C から 80°C の範囲で各温度 3 本の試験片を用いて試験を行った。

磁気特性評価としてヒステリシス・メジャー・ループ測定を行った。複雑な反磁界の効果を排除するために、本実験ではリング状試料（外径 18mm、内径 12mm、厚さ 2mm）を用いた。励磁用コイルを 80 巻、検出用コイルを 160 巻きし、最大電流 2.8A、周波数 0.1Hz の三角波電流により磁界を発生させ、その際検出される誘

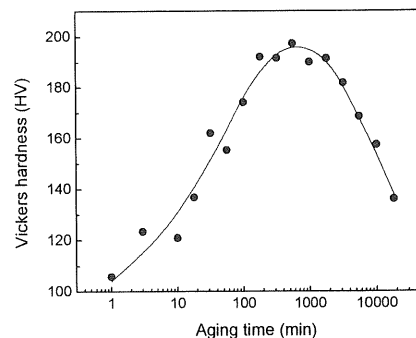


Fig. 1 Vickers hardness as a function of aging time.

連絡先： 鎌田 康寛，〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5，岩手大学工学部附属金属材料保全工学研究センター， e-mail: kamada@iwate-u.ac.jp

導起電力を AD 変換器によりデジタル化し積分することで、BH 曲線を得た。

3. 結果及び考察

Fig. 2 に衝撃試験の結果を示す。圧延及び熱時効により吸収エネルギー曲線が高温側にシフトして脆化した。DBTT は、未処理材が 0°C、圧延材が 23°C、熱時効材が 68°C であった。

Fig. 3 にメジャーループ測定により得られた BH 曲線と保磁力付近の拡大図を示す。圧延および熱時効により 1000 A/m 以上の磁場範囲で磁化が飽和しにくくなっており、特に圧延材でその傾向が顕著である。未処理材に対していずれの試料も保磁力が増加した。

衝撃特性および磁気特性評価の実験結果をもとに、DBTT と保磁力の関係を Fig. 4 に整理した。未処理材

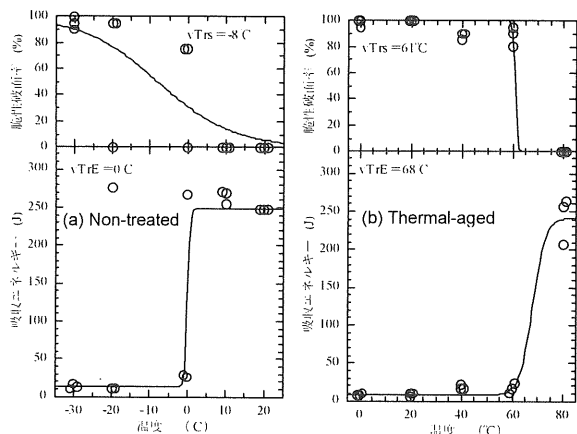


Fig. 2 Temperature dependence of the absorption energy.

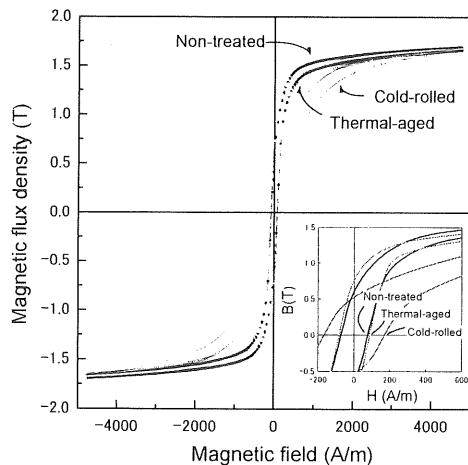


Fig. 3 B-H curves of FeCu alloys.

と圧延材を比較した結果を Fig. 4 (a)に、未処理材と熱時効材を比較した結果を Fig. 4 (b)にまとめた。いずれの場合も、DBTT が上昇すると保磁力が増加することがわかった。遷移温度に対する保磁力の変化量の割合は圧延材の方が大きかった。圧延では転位密度の上昇が、熱時効では Cu 析出物の形成が脆化を引き起こす。この脆化メカニズムの違いを反映して、保磁力の変化量に違いが生じたと考えられる[2]。

4. 結言

Fe-1wt%Cu 合金を圧延・熱時効した脆化模擬材を作製した。延性-脆性遷移温度の上昇とともに保磁力が増加し、延性-脆性遷移温度と磁氣的物理量の間に相関があることを明らかにした。

謝辞

本研究は原子力安全基盤調査研究「原子炉圧力容器鋼の磁氣的非破壊検査技術に関する研究」の成果の一部である。

参考文献

- [1] 福谷耕司, 大野勝巳, 中田早人, 原子炉圧力容器鋼の照射組織変化, INSS Monographs No.1, 2001, pp.1-5.
- [2] 鎌田康寛, 中野朋和, 高橋正氣, 荒克之, 菊池弘昭, 越後谷淳一, 八重樫光, “冷間圧延鋼のシャルピー衝撃特性と磁化特性の相関”, 日本応用磁気学会誌, Vol.28, (2004) pp.409-412.

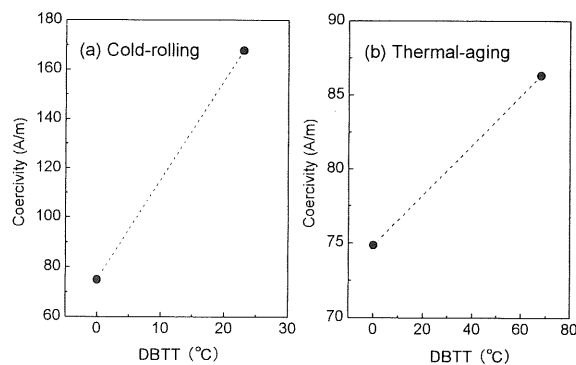


Fig. 4 Correlation between DBTT and coercivity.