

渦電流法によるインコネル 600 の鋭敏化評価

Evaluation of Sensitization of Inconel 600 Using Eddy Current Method

東北大学流体研	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学流体研	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member
東北大学流体研	阿部 利彦	Toshihiko ABE	Non Member
発電技検	程 衛英	Weiyang CHENG	Member

It is well-known that Cr depletion in Inconel 600 changes its magnetic properties, and there is a possibility that electromagnetic nondestructive evaluation has capability of evaluating sensitization of Inconel 600 quantitatively. In this study, we discuss application of eddy current method to the evaluation. For the purpose, magnetic properties of Inconel 600 with different aging times were evaluated by B-H loop analyzer. Results show that some magnetic parameters correlate well with Cr depletion. Focusing on the fact, Eddy current method was applied to evaluation of sensitization of Inconel 600. Eddy current signals showed good correlation to the sensitization of Inconel 600.

Keywords: Eddy Current Method, Inconel 600, Sensitization

1. 緒言

ニッケル基合金は、火力・原子力発電所等における高温環境下にて多用される重要な材料であるため、その応力腐食割れ対策は非常に重要な課題である。このことから、ニッケル基合金の応力腐食割れの一因である鋭敏化を定量的に評価する手法を確立することが求められている。

ニッケル基合金のうち、インコネル 600 は固溶化処理後には常磁性であるが、鋭敏化すると磁性を持つことが知られている[1]。また、磁気力顕微鏡観察を行うことにより、結晶粒界におけるクロム欠乏と粒界における磁化が関係づけられることが定性的に見いだされている[2]。

本研究では、インコネル 600 が鋭敏化することによりその磁気特性が変化することに着目し、渦電流法を用いて、鋭敏化度の非破壊評価を行うことを検討する。このために、異なる熱時効処理を施した試験片について磁気特性の測定を行い、鋭敏化による磁気特性の変化を評価した。さらに、渦電流法を適用し、渦電流信号と鋭敏化度との関係について議論する。

2. 供試材

本研究で使用したインコネル 600 供試材の化学組成を表 1 に示す。試験片は、1100℃、60 分の固溶化熱処理を施した試験片と、固溶化熱処理の後に 650℃に加熱し、それぞれ 10, 15, 20, 30, 40, 80 時間保

持して熱時効を行った試験片を用意した。

3. 磁気ヒステリシス曲線の評価

磁気特性の評価を行うために B-H アナライザーを用いて磁化曲線の測定を行った。B-H アナライザーは、試験片と同軸の励磁コイルと検出コイルから構成される。励磁コイルにより試験片の外部磁場を変化させ、このときの試験片の磁化変化を検出コイル信号から解析し、試験片のヒステリシスループを評価する。試験片は 2 節で示した熱処理試験片を加工し 3mm、長さ 30mm の円柱状試験片に作製した。試験周波数は 100Hz に設定し、磁気ヒステリシスループ等を評価した。

図 1 に、固溶化処理のみを施した試験片、10 時間、80 時間の熱時効処理を施した試験片の磁気ヒステリシス曲線を示す。本研究における供試材の炭素量と熱時効条件から、熱処理時間 10 時間前後に粒界におけるクロム欠乏量のピークが見られ、その後クロムが補給されクロム欠乏が回復することが TTS 曲線から予想される。ヒステリシス曲線は、このクロム欠乏と対応する

表 1 Inconel600 供試材の化学組成 (mass%)

Si	C	Fe	Cr	Cu	Mn	S	Ni
0.1	0.03	9.0	16.6	0.1	0.2	0.001	Bal.

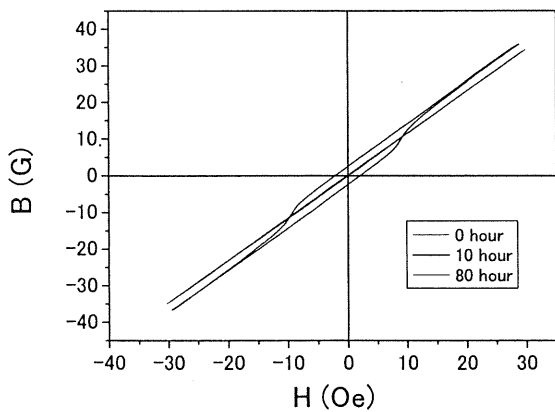


図1 熱時効処理によるヒステリシス曲線の変化

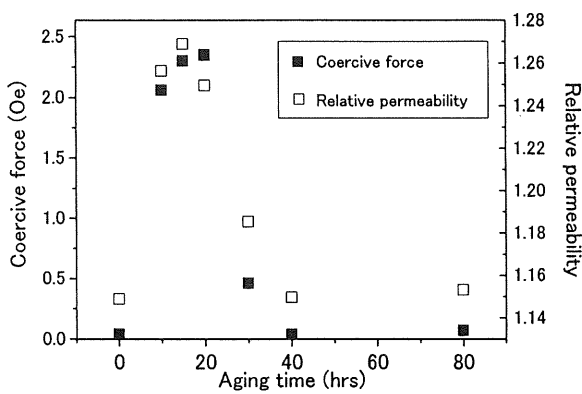


図2 保磁力および比透磁率と熱処理時間との関係

ようにその形状が変化する。図1に示されるように、固溶化処理のみを施した試験片及び80時間の熱時効処理を施した試験片には、ヒステリシスが見られないが、10時間の熱時効処理を施した試験片では低磁場領域にヒステリシスが見られる。図2に、保磁力及び30Oeにおける比透磁率と熱処理時間の関係を示す。保持力、比透磁率の双方が、熱処理時間とともに変化しており、Cr欠乏を反映しているものと考えられる。

4. 渦電流法の適用

渦電流探傷装置と差動型プローブを用いて渦電流法による鋭敏化試験片の評価を実施した。差動プローブは、外径14mm、内径8mm、厚さ6mm、200ターンのコイルを上下2段に組合せたものであり、両コイルの間は20mm離れている。試験片は下部コイルの下に配置され、環境ノイズを除去するために上部コイルと下部コイルは逆接続されている。

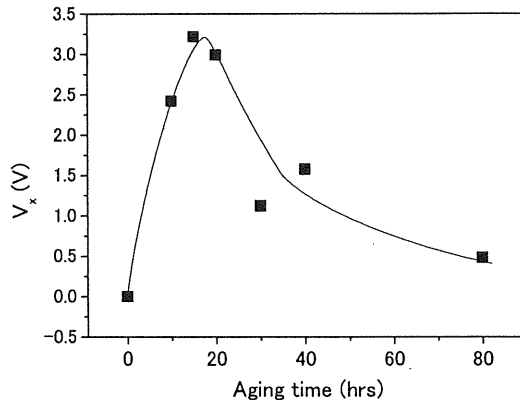


図3 渦電流信号と熱処理時間との関係

試験周波数を50kHzとしたときの、渦電流プローブ電圧のX信号と熱処理時間との関係を図3に示す。ここで、リフトオフ変化による信号の変化がY信号方向となるように信号の位相を調整した。渦電流信号においても、磁気パラメータと同様にCr欠乏と相関するように変化していることがわかる。従って、渦電流法によりInconel 600の鋭敏化度の評価が可能であるといえる。

5. 結言

異なる熱時効処理を施したInconel 600試験片について磁気特性の測定を行い、鋭敏化に伴って比透磁率、保磁力が変化することを確認した。さらに、渦電流法を適用し、渦電流信号が鋭敏化度と非常に高い相関があることを示した。

謝辞

本研究で使用した試験片の加工に際して、流体科学研究所の渡邊努氏をはじめ技術職員の方々に多大なる支援を承った。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 岡田康孝、吉川州彦、行俊照夫、“磁性によるNi基600合金の鋭敏化挙動の測定”、日本金属学会誌、第45巻 第5号、1981、pp.496-502.
- [2] S. Takaya, T. Suzuki, T. Uchimoto, K. Miya, Magnetic Force Microscopy Observation of Sensitized Inconel 600, Journal of Applied Physics, Vol.91, No.10 (2002), pp.7011-7013.