

高クロム鋼溶接材の傾斜欠陥に関する 電磁逆解析手法の提案

Proposal of electromagnetic inverse analysis technique about the inclined defect for welded specimen of high chromium steel

(独)産業技術総合研究所	中住 昭吾	Shogo NAKASUMI	Member
(独)産業技術総合研究所	鈴木 隆之	Takayuki SUZUKI	Member
(独)産業技術総合研究所 (筑波大学[院])	高島 尚之	Naoyuki TAKASHIMA	
大分大学	槌田 雄二	Yuji TSUCHIDA	Member

The technique of obtaining shape of inclined defect at heat affected zone for welded specimen of high chromium steel was proposed. In this technique, magnetic flux leakage measurement and the inverse analysis using singular value decomposition were used. Suitable defect shape was obtained from the magnetic flux density distribution under the high magnetic field without being subject to the influence of a welding part. Under the low magnetic field, suitable defect shape was obtained by subtracting the magnetic field of welding part from measured magnetic flux distribution.

Keywords: inclined crack, magnetic flux leakage technique, welding part, inverse analysis, magnetic dipole moment

1. はじめに

近年、エネルギー機器やその他の産業機器では安全性・信頼性確保のため、高精度な劣化損傷の評価手法の開発が求められている。原子力機器の構造部材として検討されている高クロム鋼を溶接継手として用いる場合、溶接継手近傍では溶接金属や溶接による熱影響部 (Heat Affected Zone : HAZ) 周辺部で傾斜き裂や損傷が発生しやすい。これらの欠陥では材料の相違や傾斜した欠陥形状が漏洩磁束密度分布に対し複雑に影響を及ぼす。そこで本研究では高クロム鋼溶接材の熱影響部に沿って存在する Type-III 欠陥に対し、漏洩磁束密度計測と逆解析手法により欠陥形状を求めた。

2. 傾斜欠陥の磁束密度分布

本研究で用いた試験片は高クロム (Mod.9Cr-1Mo) 鋼溶接板から切り出して作成した。溶接金属と HAZ の境界上に溶接線と平行に長さ 2.5mm、傾斜角 20度の欠陥をワイヤーカット加工で設けた (図 1)。試験片の着磁条件の違いによる漏洩磁束密度分布の比較を行うためネオジム磁石 (表面磁束密度 4.88kG) とフェライト磁石 (同

1.33kG) の 2 種類の磁石を用いて着磁させた。

計測で得られた試験片長手方向の漏洩磁束密度分布を図 2 に示す。図 2 (a) では欠陥に対して非対称な分布となっていることが確認できる。それに加えて図 2 (b) では溶接金属や熱影響部に起因する変化が確認できる。

3. 逆解析による欠陥形状評価

図 2 の漏洩磁束密度分布から、磁気双極子を用いた方法 [1] と特異値分解による逆解析 [2] を行った。その際、特異値分解で微小な特異値の影響により振動解になり易いため、ある閾値以下の大きさの特異値を切り捨てることで適切な逆解析結果を得る処理を行った。逆解析結果を図 3 に示す。これは傾斜欠陥の面上に配置した磁気双極子の逆解析結果である。点線は欠陥境界の位置を示す。

図 3 (a) では適切な欠陥形状が求められている。すなわち強磁場印加下の漏洩磁束密度分布からは傾斜欠陥形状を精度良く求めることができたと言える。それに対して図 3 (b) は欠陥形状を正しく表現できていない。これは溶接部の影響が相対的に大きいことが原因と推測される。

そこで溶接部の影響を定量的に評価するため、高クロム鋼板の溶接部から切り出した試験片の磁気特性を測定し試験片材料の B-H 曲線を求めた。その結果を図 4 に示す。磁界の強さが小さい範囲では母材の透磁率と比較し

連絡先: 中住昭吾、〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 つくば東、独立行政法人産業技術総合研究所、
E-mail: nakasumi.shogo@aist.go.jp

て溶接金属のそれは低いことが分かる。そのため磁束密度の分布に影響を与え、適切な逆解析結果が得られなかったと思われる。一方飽和磁化の値は材料の間にはほとんど差がないため、飽和磁化に達した後は材料の差に起因する磁気特性の差が僅かなものに留まっており逆解析に影響を与えなかったと思われる。

図 2(b)の分布から溶接部の影響を取り除き傾斜欠陥の影響のみを抽出するため、図 1 と同様の形状で欠陥のない試験片の磁束密度分布を測定し(図 5)、これを図 2(b)から減算させた。その結果得られた磁束密度分布を図 6 に示す。図 6 では溶接部の影響がほぼ除去されていることが確認できる。これを用いて逆解析を行った結果を図 7 に示す。図 7 は欠陥面の形状が適切に現れていることを確認できる。

4. まとめ

高クロム鋼溶接材の溶接部周辺の傾斜欠陥に対し漏洩磁束密度分布を計測し、特異値分解に基づく逆解析を行った。強磁場印加下で得た漏洩磁束密度分布からは溶接部の影響を受けることなく欠陥形状を求めることができた。弱磁場印加下では相対的に溶接部の影響が大きくなるものの、その磁気特性を減算処理することで溶接部の影響を取り除いた漏洩磁束密度分布を抽出し、適切な欠陥形状を求めることができた。

謝辞

本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、福井大学が実施した平成 23 年度「もんじゅ」における高速増殖炉の実用化のための中核的研究開発」において、独立行政法人産業技術総合研究所が再委託を受けて実施した成果を含みます。

参考文献

- [1] S. Nakasumi and T. Suzuki, "Evaluation of Defect Shape Based on Inverse Analysis Considering the Resolution of Magnetic Sensor", E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.3, No.1, 2011, pp.1-10.
- [2] 日本機械学会編, "逆問題のコンピュータアナリシス", 日本機械学会, 1991, p.41.

(平成 24 年 6 月 15 日)

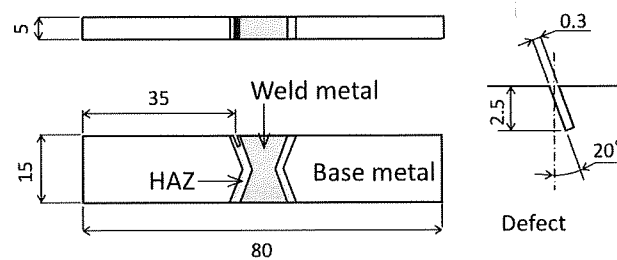
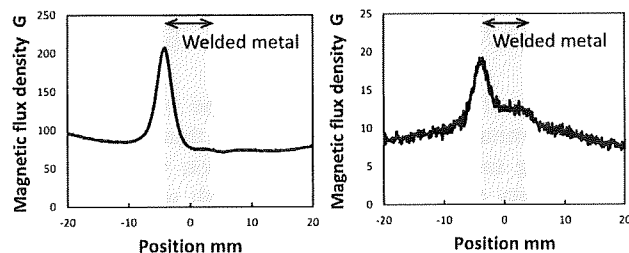
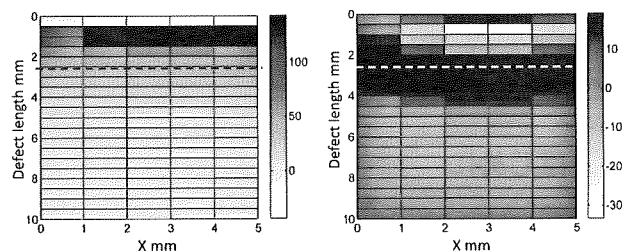


Fig.1 Specimen



(a)Applied magnetic field 4.88kG (b)Applied magnetic field 1.33kG

Fig.2 Magnetic flux leakage distribution



(a)Applied magnetic field 4.88kG (b)Applied magnetic field 1.33kG

Fig.3 Results of inverse analyses

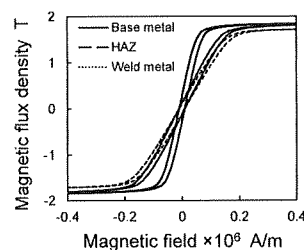


Fig.4 B-H curves

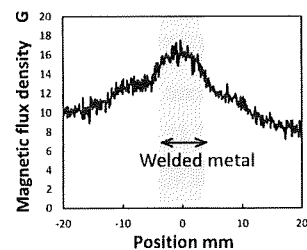


Fig.5 Magnetic flux leakage distribution of welded specimen

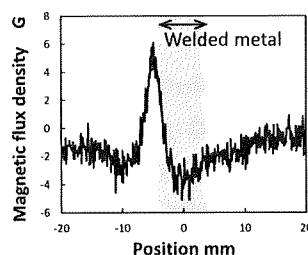


Fig.6 Magnetic flux leakage distribution obtained by subtracting the effect of welded region

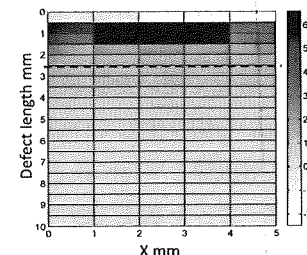


Fig.7 Result of inverse analysis using subtracted magnetic flux distribution