

氏 名	丸 山 温
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 3 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 27 年 3 月 東京理科大学理学部物理学科卒業
学 位 論 文 題 目	オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の疑似欠陥像に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 小幡 充男 東北大学教授 桑名 武 東北大学教授 渡辺 龍三

論 文 内 容 要 旨

1 序 論

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部の X 線透過写真には、その溶接部が全く健全であるにもかかわらず、あたかも欠陥が存在するような像すなわち疑似欠陥像が現れることがかなり以前から報告されていた。このことは検査の際に健全部が欠陥部と判定される結果となり、工業界では大きな問題として取り上げられ、この問題の解決が重要な課題として提起されてきた。しかしその後その疑似欠陥像の成因については、多くの報告が出されたが、その像が発生するときの条件、すなわち溶接条件及び撮影条件により、その都度異なった考え方、知見が出されてきた。そしてそれらはいずれも推論にとどまり、明確な結論が得られないまま現在まで推移してきた。

最近になりその成因を X 線の回折現象と考えることにより、疑似欠陥像の現象がより説明し易いことから、回折説が有力視されるようになってきた。

本研究では、疑似欠陥像の成因を解明するため、まず疑似欠陥像の挙動を詳細に調べた結果、それらの挙動はいずれもよく X 線の回折現象を示唆するものであることを確かめた。一方、疑似欠陥像の成因が回折現象であることを実証するためにはそれらが回折の基本条件である Bragg の条件を満足していることを示す必要がある。そこで疑似欠陥像について Bragg の条件式の各因子を実測し、それらが Bragg の条件を満足しているか否かにより、成因が回折現象によることを実証した。

また本研究では成因が回折現象であることを実証したために、工業的に最も重要である技術的

な手法による疑似欠陥像の判別方法を考案し、それらが実用的に有効であることを示した。更に実際に疑似欠陥像が発生した場合に、以上の判別方法を適用する際の実際的な判別手順を提案した。

2 疑似欠陥像の形態と挙動

第二章では疑似欠陥像の成因を明らかにするために疑似欠陥像の性質と挙動を詳細に観察し、調べた結果について述べる。現在まで疑似欠陥像の形態を十分に整理したものが殆どなかったため、今回約700枚余のオーステナイト系ステンレス鋼溶接部の透過写真を観察し、その結果から疑似欠陥像の形態を線状、ハケ状、斑点状の3種類に分類した。分類した3種類の疑似欠陥像について種々撮影条件を変化させた場合の疑似欠陥像の挙動、性質を詳細に検討した。

疑似欠陥像は溶接部より発生するが溶接部全体から一様に発生するのではなく、溶接部の凝固組織に依存し、また板厚が厚くなるにしたがって疑似欠陥像が現われる部位は限定されてくることが明らかとなった。

撮影条件の疑似欠陥像との関係について、次の特徴的な挙動が明らかとなった。

1) 溶接部に対するX線の入射角を変えると、疑似欠陥像は消滅したり、あるいは新たな別の疑似欠陥像が現われ、入射角の僅かな変化に対して疑似欠陥像は敏感に変化する。

2) 溶接部-フィルム間距離を次第に大きくしていくと、疑似欠陥像は白い像と黒い像とに分離し、黒い像のみが溶接部-フィルム間距離に比例して移動する。

3) 入射X線の線質すなわちX線のエネルギー分布を変化させると疑似欠陥像も変化する。この場合エネルギーの変化に応じて、疑似欠陥像の位置が移動するものと、像が消滅してしまうものがある。

以上の疑似欠陥像の挙動は、いずれも疑似欠陥像を回折現象と考えることが最も妥当であり、疑似欠陥像がX線回折であることを示唆している。

3 疑似欠陥像の成因の実証

疑似欠陥像の成因がX線の回折であることを実証するためには、回折の基本条件である Bragg の条件式 $n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$ を満足しなければならない。ここで d : 結晶の面の間隔 θ : 回折角 n : 反射次数 (整数) λ : X線の波長 (X線のエネルギー)

そこで第三章では疑似欠陥像について、Bragg の各因子の実測方法を検討、考案し、その方法により各因子を実測した結果から疑似欠陥像が Bragg の条件を満足していることを実証した。

疑似欠陥像について、条件式の因子 θ 及び λ は実測可能であるが、実測するためには細かい特殊な実験配置を必要とし、市販の装置がないため専用の測定装置を作成した。 λ は直接測定はできないが、エネルギーを測定することから求めた。すなわち波長は次式によりエネルギーから一義的に換算できる。

$$\lambda = \frac{12.4}{E} \quad (\lambda: \text{オングストローム} \quad E: \text{keV})$$

エネルギーの測定にはシンチレーション検出器と多重波高分析装置を用いた。

また疑似欠陥像の面間隔 d は直接測定できないため、特性 X 線による X 線回折装置を用いて溶接部の回折に参与するすべての結晶面の面間隔 d を測定し、更に各 d に対応する面指数の決定を行った。

そこで疑似欠陥像が Bragg の条件を満足するか否かを実証する方法として次の二通りの方法によった。

1) θ と λ の各実測値を用い、Bragg の条件式により計算で d の値を求め、その値と一致するものが X 線回折装置で測定した d の値の中に存在するか否か。

2) 実測値 λ と X 線回折装置で求めた d の値を用いて Bragg の条件式から θ の値を求め、その θ の値と実測値 θ と一致するか否か。

以上の実証方法を線状及びハケ状の疑似欠陥像に適用した結果、次のことが明らかとなった。

線状及びハケ状の疑似欠陥像は Bragg の条件を満足しており、凝固組織による結晶の (111) 面、(200) 面及び (311) 面からの回折像であることが明らかとなった。

また線状及びハケ状いずれの疑似欠陥像についても (111) 面による回折像が支配的であり、線質 (X 線のエネルギー) が変化してもその像は消滅せず、線質の変化に対応して回折条件を満足する方向に移動する。一方 (111) 面以外の回折面による疑似欠陥像はラウエ斑点の発生と同じく特定のエネルギーによって発生し、線質を変化させると疑似欠陥像は消滅することが明らかとなった。

4 溶接部の凝固組織と疑似欠陥像との関係

疑似欠陥像には特定のエネルギーで選択的に回折されるものと、X 線の線質に応じて回折条件を満足する方向に現れるものがあり、前者はラウエ斑点と同様の回折として説明できるが、後者については理解し難い。第四章ではこれらを明らかにするため、疑似欠陥像と凝固組織の配向との関係を詳細に検討し、疑似欠陥像のエネルギーの依存性を明らかにした。

溶接部の各断面の顕微鏡の写真を撮り、疑似欠陥像の発生部位と凝固組織との関係を求め、更に各組織のそれぞれのラウエ写真を撮影した。

セル組織部のラウエ写真より得られた結果と、疑似欠陥像から得られた結果とでは、回折角と方向が全く一致したことから、疑似欠陥像はセル組織より発生していることが明らかとなった。そこでそのラウエ写真からステレオ投影を行い、疑似欠陥像に対応する結晶面の回折角と配向を求めた。

一方結晶の不完全さを示すモザイク構造の考え方を導入し、一つの疑似欠陥像の大きさと撮影条件よりモザイク幅 $d\theta$ を概算した。モザイク幅は約 1.1° であった。

ステレオ撮影からえられた各疑似欠陥像の回折角とモザイク幅より、各回折像を生ずる X 線のエネルギー範囲を求めた結果、実験結果とよい一致を示した。すなわちセル組織の (111) 面による回折角は小さいため、X 線エネルギーが高く且つ広いエネルギー範囲で回折が起こり、また (111) 面以外の面は回折角が大きく、回折が起こるエネルギー範囲は小さくなり、選択的に特定のエネルギーで回折像を生ずることがよく説明できた。

5 疑似欠陥像と欠陥像との判別方法

疑似欠陥像が発生した場合、それらが欠陥像か疑似欠陥像かを判別する方法を明確にすることが最も重要なことである。第五章では技術的な実用的判別方法を明らかにし提案する。

従来は疑似欠陥像の成因が不明であったため、疑似欠陥像の判別は観察者の主観的判断により行っていたため判定結果は客観的に全く信頼性に欠けるものであった。しかし今回その成因が明らかとなったため、主観的に判断し得る技術的な判別方法可能となり次の6つの判別方法を考案した。

- 1) 角度法
- 2) 拡散法
- 3) マスク法
- 4) メッシュ法
- 5) グリッド法
- 6) 線質変化法

更に以上の方法を多数の溶接部に適用し、その実用性を実証した。

また疑似欠陥像の成因が明確になったため、疑似欠陥像を形態的に分類した参考写真を作成し、それらと対比する方法により、従来の主観的な観察方法をより確度の高い方法に改善することができた。

以上の各種判別方法の適用結果をもとに、疑似欠陥像が発生した場合の実際的な判別手順を作成し提案した。

6 結 論

第六章では本研究で得られた結果を総括した。

審 査 結 果 の 要 旨

非破壊探傷試験法の中心的方法として、広範に活用されているX線探傷試験法を、オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の欠陥探傷に適用した場合、無欠陥領域においても、あたかも欠陥の存在を示唆するような影像（疑似欠陥像）がかなりの頻度で現れることが確認され、オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の品質保証の面より、重要な問題として指摘されてきた。本論文は、疑似欠陥像の発生機構を実験・理論の両面より解明した後、その結果を基に疑似欠陥像判定法を確立したもので、全編6章より成る。

第1章は、序論である。

第2章では、X線撮影条件による疑似欠陥像の形態、およびその変化を詳細に観察、分類し、その基本的形態は三種類に大別出来ることを初めて指摘すると共にそれらの変化は、X線回折現象を考慮することで定性的に解釈出来ることを述べている。

第3章はBraggの条件式を利用し、疑似欠陥像の発生原因がX線の回折現象であることを定量的、直接的に立証したものである。そのため、まず疑似欠陥像を形成するX線のエネルギースペクトル、回折角を測定できる装置を試作し、これらにより多数の事例を解析した。その結果、疑似欠陥像は主に(111)面、(200)面による回折像であることを明確にすることができた。これは、重要な知見である。

第4章では疑似欠陥像と溶接部の凝固組織の関係について検討したもので、X線質の変化による疑似欠陥像の消滅・発生挙動は、結晶のモザイク構造の考え方で説明できることを示している。

第5章は疑似欠陥像の発生機構を勘案することで、真の欠陥像と疑似欠陥像を客観的に区別できる6種類の方法を考案すると共にそれらの適用範囲を提案し、その有効性を700以上の事例について確認したものである。このことは、X線探傷試験法の信頼性を向上させた重要な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、X線探傷試験法においてオーステナイト系ステンレス鋼溶接部に発生する疑似欠陥像をその発生機構から解明し、続いて、真の欠陥像との判別法を提案したもので、材料加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。