

SMT 業務紹介

陽電子消滅法による評価技術の紹介

★ はじめに

陽電子(e+)とは電子(e-)の反粒子であり、質量は電子と同じですが、正の電荷を持っており、電子と対消滅する性質を持ちます。その消滅するまでの寿命を評価することにより、電子顕微鏡でも捉えることのできないナノメートル(10⁻⁹m)、あるいはサブナノメートルの結晶格子欠陥(原子空孔、空孔集合体、ポイド、転移、ナノクラック等)を評価することができます。その測定方法についてご紹介し(写真1)。



写真1 陽電子寿命測定装置

★ 陽電子消滅法とは

²²Naは、陽電子を放出する際に、1.28MeVのγ線を放出します。一方、試料中に入った陽電子は、試料中の電子と対消滅して、多くの場合、2本の消滅γ線(0.511MeV)を正反対の方向に放出します。1.28MeVのエネルギーのγ線をスタート信号、0.511MeVの消滅γ線をストップ信号として時間差を計測する事により、陽電子の寿命が測定できます(図1)。陽電子は、格子欠陥や空孔等にトラップされる性質を持ち、陽電子寿命から、試料中の格子欠陥や空孔を評価することができます。

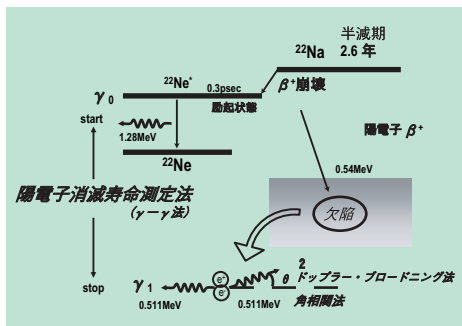


図1 陽電子消滅の現象と測定方法

図2は、高張力鋼(HT80)と純鉄に繰返し塑性変形状態にまで変形を加えた場合の陽電子寿命との相関を示しています。疲労試験前のHT80は、転位が高密度に導入されていますので、純鉄の寿命よりも陽電子寿命は長く122psとなっています。疲労試験を行うと、陽電子寿命は損傷率10%までの疲労初期に急激に増加します

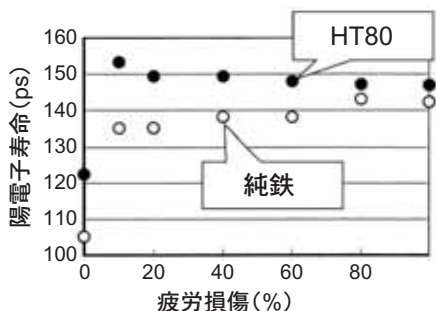


図2 鉄鋼材料の疲労と陽電子寿命の関係

が、その後、疲労に伴って緩やかに減少し、147ps秒付近で一定となっていきます。これは疲労が進み転位が集積し、サブグレインが形成されることに対応しています。純鉄の場合では、陽電子寿命は損傷率10%までの疲労初期に急激に増加し、その後、疲労破壊の進行による格子欠陥の増加が陽電子寿命の増加に対応しています。このように、疲労による組織変化の違いを、陽電子はとらえることができます。

★ 陽電子寿命によるその場測定

陽電子寿命スペクトル(図2)は、効率よく陽電子寿命を測定するために、一円玉程度の大きさの試料を2枚準備し、これらの試料で陽電子線源をサンドイッチする方法(γ-γ同時計測法)が一般的です。β+-γ同時計測法では、線源と試料を空間的に離して測定を行い、クリープ試験や疲労試験を行いながら、その場で陽電子寿命が測定できます(図3)。真空チャンバー内の線源から放出された陽電子を電磁レンズにより試験片に集束させることにより、加熱された試験片に陽電子を照射します。陽電子が陽電子検出器を透過

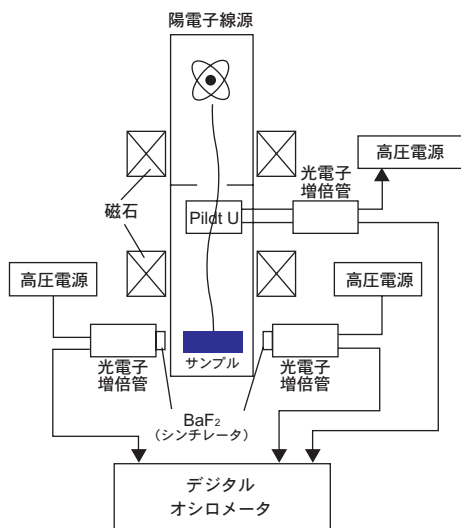


図3 β+-γ同時計測系のブロック図

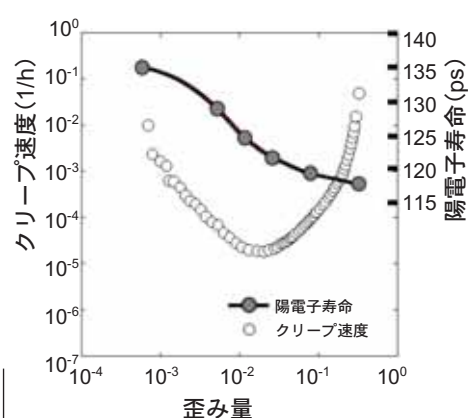


図4 耐熱鋼の陽電子寿命とクリープ速度の関係

するときの電圧パルススタート信号とし、陽電子が消滅するとき放出される2本のガンマ線をストップ信号として、陽電子寿命計測を行います。

図4は、この方法を応用して、β+-γ陽電子寿命スペクトロメータにクリープ試験機を導入した装置を用い、蒸気温度600℃級火力発電プラントに使用されている高Crフェライト耐熱鋼のクリープ変形曲線と陽電子平均寿命(τ_{av})の関係を示したものです。クリープ損傷が進行するにつれて、τ_{av}が低下していくのがわかります。すなわち、高温でのクリープ変形が進行することにより、結晶内の格子欠陥が減少していくことを示しています。

★ おわりに

弊社におきましては、平成10年度科学技術振興事業団へ応募して、現:京都大学工学研究科白井教授にご指導いただき、世界で初めてβ+-γ陽電子寿命測定装置の開発に成功し、それ以降、装置販売のみならず、依頼分析についても対応しております。

今後も、皆様の研究開発に活用していただければ幸いです。

【参考資料】

- 著者:白井泰治 他
題名:原子の穴を追う
出典:バウンダリー
- 著者:吉田政司 他
題名:β+-γ同時計測陽電子消滅法によるクリープその場測定法の開発
出典:CAMP-ISIJ Vol.13(2000)-1389
- 著者:藤城泰文 他
題名:陽電子消滅試験および微小領域応力測定による材料評価技術
出典:機能材料2004年10月号Vol.24 No.10

関西事業部 大阪試験部 大阪試験室
溝尾 律
TEL: 06-6466-6153 FAX: 06-6466-6232