

229 長時間時効に伴う硬化・脆化の回復現象

—コンピュータシミュレーションによる鑄造二相ステンレス鋼の熱脆化予測（第3報）—
大阪大学大学院 西本和俊, ○才田一幸, 有田知功

Healing Phenomena of Hardening and Embrittlement during Long Term Aging
- Computer Prediction of Thermal Embrittlement in Cast Duplex Stainless Steel (Report 3) -
by NISHIMOTO Kazutoshi, SAIDA Kazuyoshi and ARITAT oshikatsu

キーワード：二相ステンレス鋼, 熱脆化, 回復, スピノーダル分解, G相析出

Keywords : Cast duplex stainless steel, Thermal embrittlement, Healing, Spinodal decomposition,
G phase precipitation

1. 緒言

鑄造二相ステンレス鋼フェライト相の長時間時効熱処理に伴う熱脆化は、573K～673Kの温度域ではスピノーダル分解（ α' 相の析出）が、723K以上ではこれに加えてG相の析出が主たる要因であることが報告されている。本報告では、これらの相が析出した場合の長時間時効に伴う硬化と脆化の回復挙動について実験的検討ならびに計算機による予測を実施した。

2. 供試材料および実験方法

使用した鑄造二相ステンレス鋼はこれまで^{1,2)}と同じSCS14Aと比較検討用の高純度フェライト系ステンレス鋼（30Cr-2Mo鋼）である。SCS14Aは α' 相とG相が同時に析出する753KおよびG相のみが析出する798K、30Cr-2Mo鋼は773K（ α' 相のみが析出）にて時効処理を行った。時効に伴う靱性変化は、シャルピー衝撃試験および破壊靱性（CT）試験により評価した。

3. 長時間時効に伴う硬さおよび靱性の変化

3.1 過時効領域における脆化の回復現象

鑄造二相ステンレス鋼SCS14Aを798K（G相のみが析出）で時効したときの材料の平均硬さおよび靱性の変化をFig.1に示す。時効時間400ks付近から急激に硬化し、時効時間2Msで最も硬化し、その後の長時間時効に伴い硬化は回復する（過時効現象）。靱性値はG相の析出とともに急激に低下するが、過時効領域において靱性値は下げ止まりの傾向にはあるものの回復は生じないことがわかる。一方、 α' 相を析出させた30Cr-2Mo鋼の時効に伴う硬さおよび靱性の変化をFig.2に示す。時効時間とともに硬さは高くなり、約40ksの時効において最も硬化するが、その後の長時間時効に伴い硬化は回復する。靱性値も α' 相の析出とともに低下するが、過時効領域では脆化が明確に回復する傾向が認められた。

3.2 α' 相およびG相の硬化・脆化への寄与

これまでの検討^{1,2)}によると、SCS14Aに α' 相とG相が同時に析出したときの硬化量には加算性が成立する。そこで、SCS14Aに α' 相とG相を同時に析出させた後、 α' 相のみを固溶（873K×3.6ks、水冷）させたときの靱性を調査した。Fig.3は α' 相固溶化熱処理前後の硬さと靱性値を

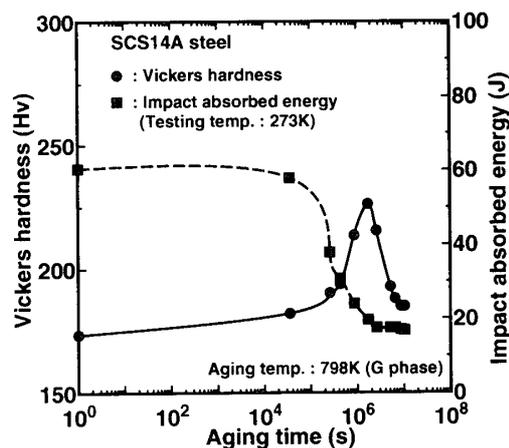


Fig.1 Effect of aging time on hardness and toughness of SCS14A steel

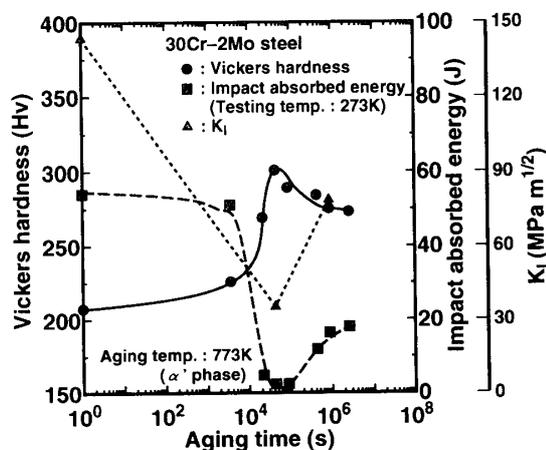


Fig.2 Effect of aging time on hardness and toughness of 30Cr-2Mo steel

示したものである。硬さと同様に、 α' 相のみを固溶させると靱性は上昇し、 α' 相とG相による脆化の寄与度に見かけ上加算性が成立するものと判断される。

4. 計算機シミュレーションによる熱脆化予測

4.1 硬化と脆化の関連性

α' 相とG相がそれぞれ単独に析出した場合の硬さと靱性の関係をFig.4に示す。 α' 相では硬化量と靱性値の間には直線関係が成立するが、G相では過時効領域において1対1の関係が成立しないことがわかる。したがって、 α' 相では相分解→過時効領域において、G相では析出領域において、時効に伴う硬さ変化をもとに脆化を予測できることがわかる。

4.2 長時間時効に伴う靱性変化の予測

時効に伴うSCS14Aの脆化量について、 α' 相による脆化量とG相による脆化量を加算することにより予測した。 α' 相の析出に関しては前報^{1,2)}に示した相分解過程とその後のオストワルド成長過程を、G相の析出に関しても析出過程とオストワルド成長過程を考慮した。時効に伴うSCS14Aの硬さ予測結果^{1,2)}に基づき、脆化に加算性が成立する時効初期段階に限定して、 α' 相とG相が同時に析出した場合の靱性値を予測した結果をFig.5に示す。 α' 相とG相の析出時期が重なる場合（時効温度：673~773K）には、時効に伴い単調に脆化する。一方、 α' 相の析出・粗大化後にG相が析出する条件（時効温度：623K）では、 α' 相の過時効領域において脆化がわずかに回復するものの、その後のG相の析出に伴い脆化がさらに進行する可能性が予測される。時効後期段階を含む長時間時効に伴う脆化予測に関しては、以下のように考えられる。前報²⁾に示したように、長時間時効に伴う硬化現象では、相分解による α' 相析出とG相析出の二段階にわたって生じ、過時効領域においては、いずれも硬さが回復する可能性があることが示唆された。しかしながら、 α' 相のみが析出する場合の脆化現象に関しては、長時間時効において脆化の回復が期待できるものの、G相が析出する場合には、脆化の回復は期待できないことが示唆される。これは、析出物の種類、性質や大きさにより、析出硬化・脆化機構が異なることによるものと推察される。

参考文献 1),2) 西本他：本概要集，68（2001），p.154, 156.

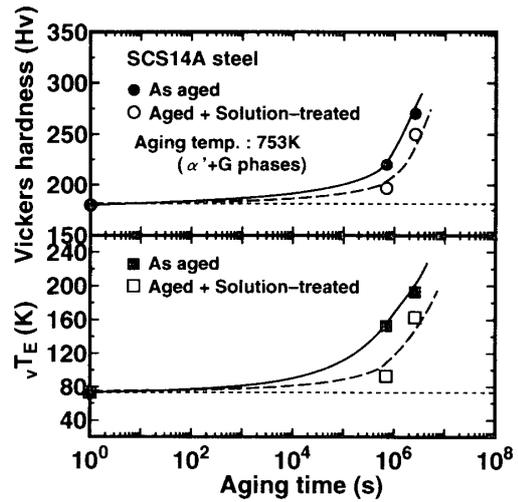


Fig.3 Effect of solution treatment on hardness and toughness of SCS14A aged

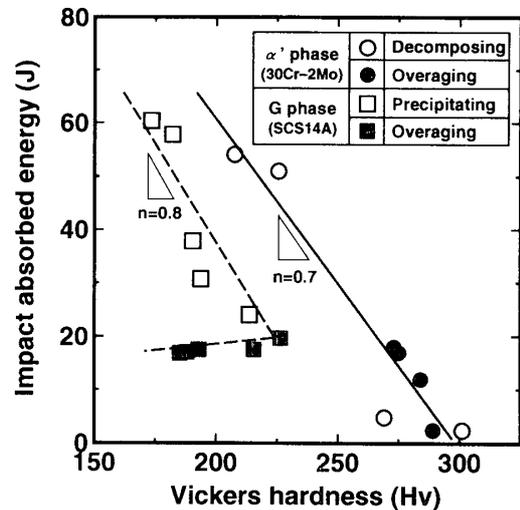


Fig.4 Relation between hardness and toughness

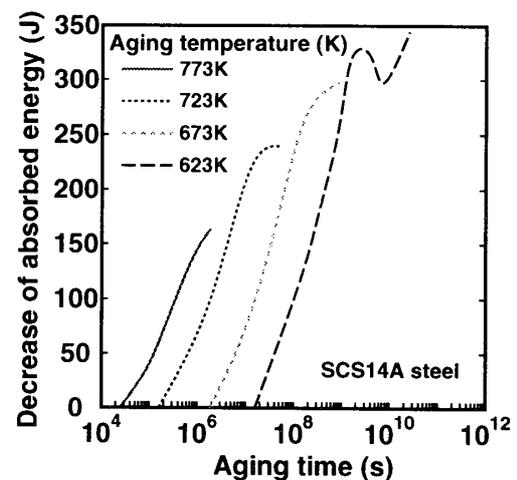


Fig.5 Prediction of thermal embrittlement caused by α' and G phases