

誌上討論

Mo を含む Ni 基単結晶超耐熱合金の合金設計 (論文)

大野丈博・渡辺力蔵・田中紘一

鉄と鋼, 74 (1988) 11, pp. 2193~2200

【質問】

金属材料技術研究所 原田広史

近年の Ni 基単結晶合金開発において Re 添加が盛んに行われるなかで、貴論文においては従来用いられてきた元素のみにて強力な合金を設計・開発しており、このことは高く評価されるべきことと思われまふ。つきましては、以下の3点についてお考えを聞かせていただければ幸いと存じます。

1. 時効処理条件と格子定数ミスマッチの適合性

貴論文では、時効処理条件を 1080°C×5h, 空冷, +870°C×20h, 空冷に統一して評価試験を行っています。この時効処理条件のもとでは SC-53A, および SC-83 が優れたクリーブ破断強度を発揮していますが、より低温の時効処理 (たとえば 982°C×5h, 空冷, +870°C×20h, 空冷) を行った場合には γ - γ' 格子定数ミスマッチが相対的に負側に位置する合金 (たとえば SC-52) も時効中に界面転位を発生せずに優れたクリーブ破断強度を発揮する可能性があるのではないかと考えますがいかがでしょうか。

2. 格子定数ミスマッチと γ' 形状について

Photo. 1 の γ' 析出物形状の差を室温での格子定数ミスマッチ (計算値) の絶対値に対応させて説明しています。しかしながら、このような形状の差は、時効温度における格子定数ミスマッチが小さいもの (SC-60, 次いで SC-55) ほど球形に近づき、逆にこの格子定数ミスマッチが負に大きいもの (SC-51 および SC-56) では界面転位が生成して準整合組織となったものとして理解すべきではないでしょうか。こう考えれば、時効温度あるいはそれ以上の高温での SC-55 の格子定数ミスマッチは負と考えられ、このことは p. 2199, 右欄 12 行目より述べられている SC-55 の Raft 形成と符号します。

3. 開発合金のクリーブ破断特性について

開発された SC-83 合金は、1040°C・137 MPa (14 kgf/mm²) あるいはこの付近の高温低応力側でのクリーブ破断強度の点では、YAMAGATA ら¹⁾の開発した TMS12-1 とならんで、現時点での世界最強の合金と考えられます。加えて、TMS12-1 には α -W 相が析出するのに対して、SC-83 合金は組織が安定である点でも優れた合金であると思われまふ。しかしながら、それにもかかわらず、破断寿命 3107.2h のときのクリーブ破断伸び、絞りはそれぞれ 4.8%, 14.4% と必ずしも十

分ではないように思われまふ (TMS12-1 の場合それぞれ 14.3~15.5%, 49.6~51.8%)。実用化の観点からこれについてはどのようにお考えでしょうか。また、低温高応力側でのクリーブ破断延性は十分でしょうか。

最後に、貴論文で御使用いただいた γ - γ' 平衡計算式、すなわち γ' 面および分配比の式については、EPMA 分析結果を用いて改良・高精度化し²⁾、本討論者らの合金設計に用いることを付記します。

文 献

- 1) T. YAMAGATA, H. HARADA and Y. YAMAZAKI: Proc. 1987 Tokyo International Gas Turbine Congress, Gas Turbine Society of Japan Tokyo (1987) Oct., p. III-239 [The Organizing Committee]
- 2) H. HARADA, K. OHNO, T. YAMAGATA, T. YOKOKAWA and M. YAMAZAKI: Proc. the 6th International Symposium on Superalloys, ed. by D. N. DUHL et al. (1988), p. 733 [The Metallurgical Society, Inc.]

【回答】

日立金属(株)安来工場冶金研究所

大野丈博, 渡辺力蔵

長岡技術科学大学機械系 田中紘一

1. 時効処理条件と格子定数ミスマッチの適合性

御質問の点は、最適の時効処理条件が合金によって異なるのではないかとことを指していると思われまふ。これについては著者らも別の研究¹⁾により、格子定数ミスマッチの絶対値の大きい合金では低温側、小さい合金では高温側の時効処理が望ましいという結論を得ています。これは、格子定数ミスマッチの絶対値の大きい合金ほど時効処理中に γ' の形態変化が早く進むためであり、最適の γ' の形態 (γ' が立方体形状で規則正しく配列した状態) を得るためには、厳密には合金により時効処理条件を変えるべきであると考えまふ。従って御指摘のように、本研究で用いた 1080°C の時効処理より、より低温側の時効処理を行えば、格子定数ミスマッチが SC-53A, SC-83 より負側に位置する合金も優れたクリーブ破断強度が得られる可能性があると考えられまふ。

しかしながら、本研究では実用的な観点から、時効処理温度は 1080°C に統一して評価を行いました。この理由は、実際にタービンブレードとして使用される場合には表面にコーティングが施されますが、その時に受ける熱履歴は通常 980~1120°C であり²⁾、中でも 1080°C 程度の温度がよく用いられる^{3,4)} ので、1080°C の時効処理を行った場合に優れたクリーブ破断強度が得られる合金が実用的であると考えたためです。

さらに付け加えるならば、本合金系においては、格子定数ミスマッチが負に大きくなると $N_v - \bar{N}_v$ の制限を満たさなくなるので、この意味からもミスマッチがあまり負側である合金は有望ではないと考えています。

2. 格子定数ミスマッチと γ' 形状について

御指摘のように、格子定数ミスマッチと γ' 形状の関係は、正確には時効温度における格子定数のミスマッチで整理すべきと思います。しかしながら高温での格子定数が正確に評価できないため、本研究では室温における計算値を用いたものです。この点について本文中では詳しく考察していませんが、次のように考えています。

基本的には高温になると γ と γ' の熱膨張係数の違いにより、格子定数ミスマッチ ($a\gamma' - a\gamma$) は負の方向へシフトすると考えられます。従って室温で既にミスマッチが負であった SC-51 および SC-56 ではミスマッチはさらに負側にずれるため、界面転位網が形成され準整合組織となったものと考えます。

一方、室温でのミスマッチが正であった SC-55 および SC-60 の高温でのミスマッチがどのような値をとるかということについては確証はありませんが、SC-55 については Raft が形成されていることから考えて、おそらくミスマッチは負であろうと考えています。またその形状が球状化しているのはミスマッチの絶対値が小さいためと考えます。(以上の点は質問者と同意見。)しかしながら SC-60 については、室温でのミスマッチがかなり大きな値であるので、高温でミスマッチがゼロ付近までシフトするとは考えにくく、また γ' の粗大化が著しいことから、高温でもかなり大きな正のミスマッチを有していると考えています。この場合、形状がやや球状化していることの原因はよくわかりませんが、正のミス

マッチを持つ合金の γ' が粗大化する際の特徴的なことではないかと思っています。

3. 開発合金のクリーブ破断特性について

クリーブ破断伸び、絞りに関しては、実用上どの程度あればよいのか明確にわかりませんが、伸び 4.8%、絞り 14.4% という値は、最低限の要求を満たしていると考えています。特に絞り値が 10% 以上あるので、実用上必要とされる延性は確保していると考えられます。

また、低温高応力側のクリーブ破断延性は、例えば 900°C-392 MPa で伸び 18.8%、絞り 27.7%、800°C-735 MPa で伸び 15.4~21.7%、絞り 25.1~27.9% と、十分な値を有しています。

最後に、本研究において、質問者らの開発による γ - γ' 平衡計算式を使わせていただいたことを深く感謝いたします。

文 献

- 1) 大野文博, 渡辺力蔵, 吉成 明: 鉄と鋼, 75 (1989), p. 964
- 2) D. N. DUHL: The Superalloys II, ed. by C. T. SIMS *et al.* (1987), p. 200 [John Wiley and Sons]
- 3) M. GELL, D. N. DUHL and A. F. GIAMEI: Proc. the 4th Int. Symp. on Superalloys, ed. by J. K. TIEN *et al.* (1980), p. 205 [The Metallurgical Society, Inc.]
- 4) A. D. CETEL and D. N. DUHL: Proc. the 6th Int. Symp. on Superalloys, ed. by D. N. DUHL *et al.* (1988), p. 235 [The Metallurgical Society, Inc.]