

Time の問題は加工  $\gamma$  の回復, 再結晶と焼入性・水冷後の組織の微細化の関係から圧延機/水冷設備の最適配置, 水冷方式, 水冷能力の考え方に影響を与える。

準討 制御圧延・制御冷却鋼の微細組織と材料

(株)神戸製鋼所 後藤 正俊

鋼の微細組織と材料特性との関連の立場から加速冷却後のベイナイト量, 種類, 形態などと, 機械的性質, 靱性, HIC 性などとの関連について材質の本質からコメントしたものである。

すなわち調質鋼では嫌われる傾向にあつたベイナイト, フェライト+ベルナイト組織鋼も加速冷却に利用されはじめています。そこでベイナイト及びマルテンサイト相材料特性に及ぼす影響について紹介している。

以上の論文の発表後, 総合討論が活発に行われた。最後に座長が, 今後のオンライン焼処理技術について“①各種の冷却方式が紹介されたが, 各社の事情があるにしろ, 何か最適方式ももつと議論してはどうか。②いろいろと形状についての対策がこうじられているが, キャンパー対策についてはまだ十分解決されているようには思われない。③材質との関連性が非常に大であるので, 今後とも材質研究者との交流を活発にしていかなければいけない。④下面冷却法としてスプレー方式のみしか紹介されなかつたが, 下面冷却法に今後なお一ふうが必要ではないかと思われる。今後熱工学研究者の努力を期待している。”のコメントを行った。

今回は厚板の論文のみしか投稿されなかつたが, かえって焦点が定まっていたせいも, 非常に活発な質疑応答及び討論があり, 非常に有意義であつたと思う。関係者各位の御協力を深く感謝している。

#### IV. 高温構造材の余寿命推定法

座長 石川島播磨重工業(株)技術研究所

大友 暁

近年, 高温機械, 構造物に対して高性能化, 長寿命化, 経済性の改善等が強く要請されている。一方, 火力発電, 化学プラント等の既存機器においては, 10 年を超える長時間使用のものが増加し, しかも使用環境, 負荷の変動等一段と厳しくなっており, 新設, 既設を問わず高温機器の安全性, 信頼性を維持するため, 余寿命推定技術の重要性が増している。

今回は, 構造材料の余寿命推定事例, 長時間使用にもなる材質劣化, 損傷機構等について, 8 件の講演とその討論が行われた。

討24 内部断熱, 外部水冷式压力容器の開放検査結果および腐食の統計解析

日本原子力研究所 近藤康雄 他

多目的高温ガス実験炉の模擬実験装置として昭和 57 年 3 月に完成した大型構造機器実証試験装置 (HEND-EL) のうち, 内部断熱, 外部水冷方式の加熱器および

冷却器压力容器 (材料, SB46, 49) の 2 年間使用後の冷却水側からの孔食, みぞ状腐食の深さを測定し, 1/3 乗則にあてはめ寿命を推定した結果等が報告された。これに対し 1/3 乗則適用の妥当性, 最大局部腐食深さの求め方等について討論された。

討25 高炉鉄皮の余寿命予測

住友金属工業(株)中央技術研究所 時政勝行 他

高炉鉄皮 (SM50C) のホットスポット発生部 (~750 °C) の熱疲労寿命評価を有限要素法 (FEM) による弾塑性解析とひずみ範囲分割法をベースに行つた結果が報告された。ホットスポット発生部で最も大きいひずみ履歴を受け, 熱疲労強度が問題になるのはホットスポット中心の炉内側であること, 鉄皮開口部の熱疲労損傷度と平滑部の板厚増大率とはホットスポット温度によらずほぼ一定の関係にあること, すなわち, 使用温度条件が不明確であつても寿命推定のできる場合があることを明らかにし, 実際の高炉の余寿命推定を行い, 満足すべき結果を得たこと等が報告された。これに対し FEM による解析結果と  $\epsilon_{ij}$ - $N_{ij}$  線図の対応, 疲労損傷と延性損傷の比等について討論された。

討26  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の焼もどし脆化と水素侵食特性

川崎製鉄(株)水島研究部 下村順一 他

高温高圧水素下で長時間運転される重油脱硫装置压力容器等に使用される  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の焼もどし脆化度と Si, P の共存効果を定式化し, 焼もどし脆化の起きない臨界 P 量 (0.002%) の存在することが明らかにされた。また, 水素侵食の潜伏期間と温度, 水素圧, Si 量の関係が定式化され, 操業条件を加味した実機の寿命推定が可能になつたこと, 材料の水素拡散係数の測定による材質劣化の事前予知の可能性が示唆された。本鋼中には組成, 結晶構造の異なる数種類の炭化物が存在するが, 炭化物組成と水素侵食, 焼もどし脆化感受性の関係についての調査結果も報告された。これに対し, 炭化物析出分散形態と水素侵食, 焼もどし脆化感受性の関係, ネルソンカーブとの対比等について討論された。

討27 リフォーマ・チューブの長時間使用中における材質変化と損傷機構

(株)神戸製鋼所中央研究所 太田定雄 他

リフォーマ・チューブ (HK40 等) の余寿命を決定する因子は, 操業条件により異なり, 操業温度が比較的高いメタノール・プラントや一部のアンモニア・プラントの場合には, 最高温度部の炭化物の粗大化によるクリープ破断強度の低下, 一方, 低, 中温操業の水素, 都市ガス, アンモニア・プラントの場合には, 中間温度領域の  $\sigma$  相析出によるクリープ破断強度の低下が原因であることが明らかにされた。HK40 では, クリープ中に, 粒界の平板状に連続していた炭化物が塊状化して, 切れ目を生じ, また, 炭化物近傍には Precipitation Free Zone が生じ, この部分では, 粒界炭化物の先端の切欠効果

によつて応力集中を生じ、局部的な塑性変形が起きて Void が生成すること、共晶炭化物に接して地中から析出する  $\sigma$  相と地の界面に Void が優先的に生成すること、それらの Void が成長し、互いに連なつて破断に至ること等が報告された。これに対し、HK40 と HP 合金の比較等について討論された。

討28 SUS 316 鋼のシャルピー衝撃値におよぼすクリープ変形の影響

東京大学工学部 土山友博 他

SUS 316 の長時間クリープ材 (650~750°C, ~10 000 h) と時効材の室温シャルピー衝撃値の比較試験結果等が報告された。650°C 処理の場合は差はなく、750°C 処理の場合はクリープ材の値が低いこと、いずれの処理の場合も処理時間にもなうシャルピー値の低下は引張延性の低下より顕著であること等が明らかにされた。これに対し、シャルピー値におよぼすクリープ・キャビティ、組織の影響等について討論された。

討29 高温構造材料のクリープ疲労寿命予測方法

日本鋼管(株)中央研究所 山田武海 他

オーステナイト系ステンレス鋼の高温クリープ疲労試験結果の解析をして、1 サイクル目のヒステリシスループと引張試験結果から高温クリープ疲労寿命を factor of two の範囲で予測できる簡便な寿命推定法 (次式) が提案された。

$$N_{fp} = \frac{0.02E\sigma_B^2 \{ \dot{\epsilon}_T^{0.4} + (1 - \dot{\epsilon}_c^{0.4}) \dot{\epsilon}_c^{0.4} \} \sqrt{Dr}}{\{(1-n^2)\Delta\epsilon_{p1}\}^{1+n} (\Delta\sigma_1 + e^{10n} (\Delta\epsilon)^n / 2)^2}$$

ここで、 $N_{fp}$  はクリープ疲労寿命、 $E$  は弾性定数、 $\sigma_B$  は引張強さ、 $\dot{\epsilon}_T$  および  $\dot{\epsilon}_c$  はそれぞれ引張側、圧縮側のひずみ速度、 $Dr$  は結晶粒径、 $n$  は加工硬化指数、 $\Delta\epsilon_{p1}$  および  $\Delta\sigma_1$  はそれぞれ1 サイクル目の塑性ひずみ範囲、応力範囲、 $\Delta\epsilon_t$  は全ひずみ範囲である。

この方法は他の鋼種やクリープ破断にも適用できること等が報告された。これに対し、台形波の場合の  $\dot{\epsilon}_T$ 、 $\dot{\epsilon}_c$ 、 $\Delta\sigma$  の評価、ひずみ保持中応力リラクセーションの評価等について討論された。

討30 クリープ余寿命予測のためのクリープ破壊機構領域図と損傷評価

金属材料技術研究所 新谷紀雄 他

10 万 h に達するクリープ破断データを基に、比較的精密なクリープ破壊機構領域図の作成結果が紹介され

た。実用上問題になる長時間の破断延性の小さいクリープ破壊は、オーステナイト系ステンレス鋼においては粒界に析出し、粗大化した  $\sigma$  相界面に生成するクリープ・キャビティが粒界に沿つて成長した粒界破壊であり、Cr-Mo-V 鋼では粒界炭化物界面に生ずるクリープ・キャビティの成長、合体による粒界破壊である。このような粒界キャビティの生成量はクリープひずみに比例し増加しており、密度測定により定量的に把握でき、余寿命推定に採用できること等が報告された。これに対し、密度変化の数式化、密度測定精度等について討論された。

討31 クリープおよび高温疲労のき裂伝ば特性にもとづく余寿命推定法

京都大学工学部 大谷隆一

クリープおよび高温疲労のき裂伝ば試験によつて得られたき裂伝ばの挙動とその破壊力学的性質が示され、き裂伝ばにもとづいた構造材料の余寿命推定を行うための考え方、手法および問題点が提示された。高温におけるき裂伝ばは時間依存性き裂伝ば (クリープおよび時間依存性疲労) と繰返依存性き裂伝ば (繰返依存性疲労) に分けられること、数 mm 以下の小さいき裂もき裂長さが 2, 3 結晶粒径あるいは (2~5) 結晶粒径以上 (微小き裂) であれば、べき乗則クリープによる巨視き裂伝ば則が適用できること、1, 2 結晶粒の大きさに至るまでの微視き裂の伝ば速度は極めて変動幅が大きく、かつ巨視き裂伝ば則から予測される値より平均的に高速度側にずれており、平均的にはき裂長さによらず一定の伝ば速度で表すことができること、クリープおよび時間依存性疲労における初期破壊機構の代表的なものとして粒界拡散による粒界キャビティの成長があるが、その成長速度はキャビティ長さが大きくなるほど低下すること等が報告された。これに対し、推定精度におよぼす解析の境界条件 (初期き裂寸法の仮定等) の影響等について討論された。

以上、討論会の発表および討論の要点を概括した。総合討論は時間の関係で残念ながら割愛せざるを得なかつた。全般にわたる討論を期待された方々に対し、誌上を借りてお詫びの言葉を申し述べたい。終わりに、座長に予定されておりました雑賀喜規氏が急用で米国へ出張されたため、小生が座長を代行させていただいたことを付記する。