

氏名	丸山武志 まる やま たけ し
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1241号
学位授与の日付	昭和55年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	遠心鑄造耐熱鋼及びその溶接継手の高温強度特性と評価技術に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 田村今男 教授 水野政夫 教授 尾崎良平

### 論文内容の要旨

本論文は、運転開始後間もない新設の熱分解炉において、反応管の溶接部に亀裂が多発する現象をとりあげ、その亀裂が熱応力によって生じたものであることをつきとめ、これに対応するために、強度設計において熱応力を評価すること、溶接継手部の強度を母材なみに改善すること、および、このような熱応力の影響を強く受けている経年反応管のクリープ損傷量を推定する方法を導出することを目的として行った研究結果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章は序論で、研究の契機となった実際のプラントで生じた現象と、これに関連する当時の技術水準などの研究の背景を述べ、研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、研究の対象となった遠心鑄造耐熱鋼 HK 40 及び HP の基礎的な特性を検討して、両鋼は鑄造合金の特徴を生かして、C量を0.4%に高め、二次炭化物を多量に析出させることにより、クリープ破断強度を高めた材料であり、800℃以上では良好な高温延性を有することを述べ、また、二次炭化物の析出挙動と材質の関係は Larson-Miller パラメータで整理できること、溶接金属及び熱影響部は時効の初期に硬化が著しいが、長時間時効すると母材なみに軟化することを明らかにしている。

第3章では、熱疲労評価技術の導出に関連する一連の研究について述べている。すなわち、HK 40 および HP 両鋼の基本的な熱疲労特性について述べた後、問題の溶接継手において特有のひずみ集中現象などを明らかにし、また、時効の影響を実験室時効材と実機経年材によって検討し、これらの特性を引張性質から推定する方法を示し、さらに、クリープと雰囲気の影響については、在来の各種方法の適用性をも含めて検討し、その特性と評価方法を明らかにし、これらの結果を総合して設計疲労曲線を求め、また、線形損傷則を採用した評価法を提案している。

第4章では、溶接継手におけるクリープ破断強度の低下原因を究明し、その強度を改善する一連の研究について述べている。すなわち、溶接継手は、材質及び形状の不連続部を形成し、これに関連する因子が強度に影響することから、4点曲げクリープ試験法を考案し、実際に近い条件において試験することによって、溶接およびそれに関連する諸因子の強度に対する影響を検討している。さらに、鋼種、組織、開

先形状、余盛及び溶接法などによる曲げクリープ特性に与える影響を明らかにし、肉盛補強法、熱処理などの対策案の有効性などについても検討を行ない、継手の強度低下が溶接熱影響による二次炭化物の析出硬化によっておこることを示し、溶接後の時効処理、固溶化処理などの強化方法を示している。

第5章では、経年材におけるクリープ損傷量を推定する方法として、顕微鏡組織上のクリープポイドを観察し、その数から推定する方法を提案している。すなわち、段付試片によるクリープ破断試験によってHK 40、HP 鋼およびその溶接部におけるクリープポイドの発生成長を観察すると、ポイドは2次クリープの初期から応力軸に対し直角に近い結晶粒界に発生し、その発生状況を点算法(J. I. S. G 0555)を用いて面積率として示すとクリープ損傷との関係が2次及び3次クリープ域にわたり直線関係で示され、他方、調査しようとする経年材のポイド量を計測して、その結果を対応させることによってその損傷量を推定することが可能であることを示している。さらに、熱応力を受ける場合の補正法などについても検討し、クリープ破断試験法とともに、この方法を実際の経年材に応用して十分に実用できる精度を有することを示している。

第6章は総括である。

#### 論文審査の結果の要旨

1000℃を越える温度での強度部材として使用できる鋼材は少いが、遠心鑄造耐熱鋼 HK 40 及び HP は、このような温度域においても優れた強度特性を示し、経済性その他の点においても優れた材料である。本論文は、これらの鋼を熱分解炉に使用した場合に発生する材料学的問題を解決するために行なわれた一連の研究結果をまとめたもので、その内容は、使用条件下のクリープ、酸化、時効などの現象を考慮した熱疲労評価技術の確立、溶接継手のクリープ破断強度の低下原因の究明とその改善方法、およびクリープポイド観察による経年材のクリープ損傷量推定法の導出などである。得られた主な成果を要約すると次のとおりである。

(1) 熱疲労特性については、クリープは損傷を与えるが、条件によっては回復現象が著しい場合もあり、損傷加算には問題があることを指摘し、また、1100℃にもなると内部酸化がはげしくなり、強度低下がおこるばかりではなく、初期の時効硬化も強度低下の原因となり、さらに、in-phase サイクルでは寿命は大幅に低下することを示した。溶接部ではひずみ集中の影響が大きいなどの特性を明らかにし、これらの結果にもとづいて、時効材を含めた材料の熱疲労特性を繰返し応力-ひずみ線図から推定する方法を提案し、また、設計疲労曲線を求めて線形損傷則に従ったクリープ疲労解析法を示した。

(2) 溶接継手部のクリープ破断強度の低下については、時効の初期における二次炭化物析出による溶接金属及び熱影響部の著しい硬化によって延性が低下することに原因しており、溶接時の熱影響の軽減がクリープ破断強度の強化につながることを示し、過時効処理、固溶化処理が強度改善に有効であることを示し、また、プラズマ溶接部の強度に関連して、層の重ね方に起因する溶接金属のデンドライト成長方向がクリープ破断強度に大きく影響することを示した。

(3) クリープポイド観察によるクリープ損傷量の推定については、HK 40、HP 両鋼のクリープポイドは2次クリープの初期から応力軸に対して直角に近い結晶粒界に発生し、その発生状態を点算法を用いて

ポイド面積率として示すと、クリープ損傷との関係特性が2次および3次クリープ域にわたり直線的関係にあることを見出し、また、部材内に損傷分布がある場合にはポイド面積率の分布形から全断面の損傷を推定する線図を導出し、これらの関係線図から、少なくとも在来の加速クリープ試験法と同程度の損傷の推定が可能であることを示した。

以上要するに、この論文は1000℃内外の高温度下で熱応力によってもたらされた高温強度上の問題点を解決する目的で、種々な因子を考慮した高温強度評価法を提案し、溶接継手のクリープ破断強度を高め、また、経年材のクリープ損傷量を推定する技術を確立したもので、単に遠心鋳造耐熱鋼の使用に関する実的な技術を確立したばかりではなく、その研究の過程において、耐熱鋼に共通する基礎的な材料の高温挙動について詳細な検討を行い、幾多の新しい知見を与えたもので、工業上はもちろん、学術上にも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価値あるものと認める。