

氏 名	行 俊 照 夫 ゆき とし てる お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 266 号
学位授与の日付	昭 和 44 年 3 月 24 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	ボイラ用 18—8 系ステンレス鋼の高温強度に及ぼす諸因子の 影響についての研究

論文調査委員 (主 査)
教 授 平 修 二 教 授 足 立 正 雄 教 授 遠 藤 吉 郎

論 文 内 容 の 要 旨

近年わが国におけるボイラの発達は著しく、温度、圧力の上昇とともに発電容量も増加しつつある。ボイラの性能向上に決定的な要因となるものの一つが使用耐熱材料の高温強度の問題であるが、本研究はボイラ材の中でも極めて苛酷な条件のもとで使用される18—8系ステンレス鋼を対象として、高温強度評価の方法、多数の長時間クリープデータの解析法を検討して試験結果の信頼性を高めるとともに、高温長時間クリープの過程における金属組織の観察を通じて、18—8系ステンレス鋼の高温強度に及ぼす熱処理、加工の条件および各種成分の影響を詳細に調べ、高温強度の理解を深めるとともに新種耐熱金属材料の開発に寄与することを目的とするもので、緒言に続く6章および結言よりなり、主な成果は次の通りである。

(1) 高温クリープおよびクリープ破断強度値は本質的に分散の要因をもつものであるが、試験機および試験方法の差に基くものが基本的に最も重要である。本研究においてはクリープ試験機の標準化に資する各種の基礎的事項の検討を通じて試作された多数の単式および複式クリープ試験機の性能を調査し、得られた短時間クリープおよびクリープ破断試験結果を比較することによってその信頼性および経済性を明らかにし、複式試験機の場合必然的に起る一時的温度および応力の降下の影響を詳細に調べ、複式試験機による多数本試料の長時間同時試験の意義ならびに経済性を強調している。

(2) 本質的に分散要因をもつクリープデータの処理は高温強度の評価の上で問題となり従来から多くの論議がある。本研究では従来多く採用された「応力の破断時間による回帰」の方法の誤りを統計学的見地より指摘し、「破断時間の応力による回帰」の採用を提案してこれに基く実験計画の方法を示している。次にクリープ破断の多数データの整理に用いられるパラメータ法を検討するために、著者の得た実験値をLarson-Miller, Sherby-Dorn および Manson-Haferd の三つの方法に適用し、それぞれのパラメータに含まれる常数の代りに、材料によってデータの統計的処理に基いて得られる最適値が存在することを示し、より合理的なパラメータ法の採用を提唱している。

(3) 18—8, 18—8—Nb, 18—8—Ti 鋼については600, 650および700°C, 16—13—Mo 鋼については

50°おきに600°Cより800°Cの各段階の温度において最長1万時間におよぶ長時間クリープ破断試験を行ない、その過程における組織変化を主に電子顕微鏡によって詳細に観察している。その結果、クリープの過程における結晶粒界および粒内における $M_{23}C_6$ 、NbC、TiC および σ 相の析出の形態および過程が極めて明瞭に把握され、これは系統的に分類されて、18-8と16-13-Mo鋼とで、また18-8-Nbと18-8-Tiとが同じ系統に属することも明かとなった。殊に後者の系統に属する鋼では長時間側で針状の Cr_3C_2 がNbCやTiCを核にして析出するだけでなく、単独にも粒内析出することが明かにされたのは興味深い。この一連の組織観察の結果は使用中のボイラ材の残存寿命の推定や、経験した温度および応力の履歴の判定にも役立つものと述べている。

(4) 上記炭化物および諸相の析出と高温強度特性とは必ずしも対応しないが、 Cr_3C_2 の針状析出物の析出は材料の劣化に関係がある。また18-8-Nb鋼に破断伸びの極小値があらわれるのは微細なNbCの析出と関係があることも指摘している。

(5) 18-8系ステンレス鋼の高温強度のうち、高温引張り強さは鋼種に関係なく600~700°Cの温度範囲を境として低温側では細粒の方が、高温側では粗粒の方が高い。これに対しクリープ破断強度に対しては結晶粒度よりはむしろ初期析出状態の影響が大きい。18-8-Ti鋼のクリープ破断強度に対しては固溶TiとCの共存による影響が大きく、これに析出効果が付加されて影響する。また、前述の針状 Cr_3C_2 の析出による強度低下は固溶Cの減少によるTiとの共存による影響の変化によるものとの見解を実用鋼の場合について示している。

(6) ボイラ製作時の曲げ加工ならびに附随する熱処理がクリープ破断強度に影響するものと考えられているが、本研究ではこの問題について上記4鋼種を用いて多数の実験を行ない、金属組織との関連において詳細な検討を行なっている。18-8、18-8-Nbおよび18-8-Ti鋼においては30%加工材は650°Cにおいてクリープ破断強度が極度に低下する。これはクリープ中に結晶粒界から生成する(再結晶の生成+ σ 相析出)に因るものであることを明かにし、これを防ぐ方法を検討しているが、この過程に開発された16-13-Mo鋼においては加工に際して上のような現象が現れず750°Cの加熱において強度の低下が見られることより、ボイラ材としてはこの材料の方が前者に比しより適当であると述べている。

(7) オーステナイト系ステンレス鋼の高温強度に影響をもつ諸元素のうち、特にその効果の大きいC、N、BおよびPを選んでそれらの長時間クリープ破断強度に及ぼす影響を検討している。その結果、CとNはクリープ破断強度を増加させるが破断伸びを減少させる傾向をもつが、Bは強度と破断伸びの両者を増すことを確認し、その検討に基いて、溶接性良好でクリープ破断強度ならびに破断伸びも高いボイラ材として(0.01% B + 0.1% N)含有の18-8および16-13-Moステンレス鋼を提唱している。この結果に基いてさらに単独元素の影響、B含有量および熱処理の影響、Bと複合添加元素の強度への影響等について系統的な研究を実施し、ボイラ用オーステナイト系新鋼種として16Cr-14Ni-1.6Mo-1.2Nb-0.1P-0.008B鋼を開発し、十分な実験的実証に基いて同目的の英国の標準鋼種 Esshete 1250 鋼よりも700°C、10⁵ hrにおいて、50%以上高い強度が期待できると述べている。

論文審査の結果の要旨

火力発電用ボイラの性能向上は使用耐熱金属材料の高温強度に支配される。本研究はその使用圧力および温度が次第に上昇しつつある大型火力発電用ボイラにおいて極めて苛酷な条件のもとで使用される18—8系ステンレス鋼を対象として、高温強度を評価する最も基本的な問題の検討から出発して、その特徴である数万時間にわたる長時間クリープ破断の多数本試片同時試験の実施計画ならびに結果の解析法を論じ、試験結果の信頼性向上を図るとともに高温長時間クリープの過程における金属組織の観察を通じて18—8系ステンレス鋼の高温強度に及ぼす熱処理、加工条件および各種添加元素の影響を詳細に調べ、金属組織の観点より高温強度の理解を深めるとともに新種耐熱金属材料の開発に寄与することを目的とした研究である。

火力発電用ボイラは用いる耐熱材料の十万時間使用後のクリープ破断強度保証をその設計基準としているが、実際には数千乃至数万時間試験値の外挿によりこれを実施している。従って各個の試験値の信頼性には重要な意味があり、本研究においてはかかる見地に立って、国際的高温強度評価基準に寄与する立場より、試験機の標準化に資する各種の基礎的事項の検討を行ない、クリープ破断に関する連続および断続試験の結果の比較に基いて、単式試験機の他に複式試験機導入の根拠を論じ、試験機の立場より信頼性と経済性に基く強度評価の方法を提唱している。

さらに本質的に分散要因をもつクリープデータ処理の問題について統計学的見地より検討を加え、データ整理の基本として「破断時間の応力による回帰」の方法を提案するとともに、データ外挿に用いるパラメータ法についても検討し、より合理的なパラメータ法を述べている。

さらに、18—8、18—8—Nb、18—8—Ti ならびに16—13—Mo のオーステナイト系ステンレス鋼について最長数万時間に達するクリープ破断の試験を多数実施し、クリープの過程における金属組織の変化を主として電子顕微鏡により観察した。これら各種耐熱鋼のクリープ過程に現れる各種炭化物ならびに σ 相等の種類ならびに形状を極めて詳細に明かにし、これらの鋼種においては、クリープ過程に現れる各種炭化物等の連続的变化過程を系統的に分類することができ、組織変化の様相は高温強度と必ずしも対応しないもののこの知見は実用上極めて有用である。特に著者の発見した針状 Cr_3C_2 の出現が材料の劣化に関係するという知見は特記に値する。

曲げ等の加工はボイラ製作時にさけられないが、加工およびその後の熱処理も高温強度に影響する。著者は18—8系ステンレス鋼のもつ30%加工材の650°Cにおける極度の強度低下の原因について検討し、これが再結晶と σ 相の析出に因るものであることを明かにするとともに、16—13—Mo 鋼加工材の劣化温度が750°Cである点より、この知見に、C、N、B、P 等の添加元素の高温強度に及ぼす影響についての詳細な系統的研究の成果を併せて、ボイラ用鋼種として従来のものよりはるかに性能の勝れた新鋼種として16Cr—14Ni—1.6Mo—1.2Nb—0.1P—0.008S 鋼の開発を述べている。

以上要するに本論文はボイラ用18—8系ステンレス鋼の高温強度向上を目的として、高温強度評価方法の基本的段階より出発し、長時間クリープ過程における金属組織変化の詳細な観察を通じて高温強度を把握し、添加元素の影響に関する系統的研究による知見を併せて性能の高いボイラ用新鋼種の開発を行な

ったもので，ここに得られた成果は学術上は勿論，工業上も寄与するところが極めて大きい。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。