



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	変態塑性及びクリープ変形を考慮した大型鍛鋼品の熱処理解析に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	柳沢, 祐介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13207号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69939
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yusuke_Yanagisawa_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 柳沢 祐介

審査担当者 主 査 教 授 佐々木 克彦

 副 査 教 授 中村 孝

 副 査 特任教授 鶴飼 重治

学位論文題名

変態塑性及びクリープ変形を考慮した大型鍛鋼品の熱処理解析に関する研究

(Study on a heat-treatment analysis considering transformation plasticity and creep deformation for large forged)

発電用の蒸気タービンロータ軸や発電機軸などに使用される大型軸材は、効率化を目的とする発電設備の大型化に対応するため、近年ますます大型化の傾向を示している。部材の大型化により熱処理時に作用する応力が増加し、割れや変形などの要因となることから、より適切な熱処理が望まれる。熱処理時に生じる応力を数値解析により精度良く把握することができれば、工程設計を行ううえで非常に有用である。本研究では、大型鍛鋼品の熱処理時に作用する応力を精度良く推定するための数値解析手法を構築することを目的としている。特に、質量効果によって加熱・冷却工程が長時間になることに着目し、変態挙動に加えてクリープ変形を同時に考慮することで解析精度の向上を目指している。

第1章では、大型鍛鋼品の熱処理工程と現状の課題について述べ、大型鍛鋼品における解析手法が十分に確立されていないことを確認し、本研究における目的及び実施内容を示している。

第2章では、タービンロータ軸材に用いられている ASTM A470M 鋼の試験材及び大型軸材を用いた熱処理試験を実施し、大型鍛鋼品の冷却挙動を精度良く推定するための手法について検討している。マルテンサイト変態及びベイナイト変態における相分率の温度変化を測定し、温度と相分率に応じた熱物性値を解析に適用している。さらに、逆解析手法を用いて熱伝達率及び変態潜熱の最適値を導出することで、各試験材において冷却曲線の実測値と解析値が良く一致することを示している。

第3章では、変態塑性とクリープ変形を同時に考慮する弾塑性応力解析プログラムを構築し、汎用有限解析ソフト ANSYS Ver.15.0 のサブルーチンとして組み込んでいる。簡単な計算モデルを用いて、本プログラムと汎用の構成則（弾塑性クリープ）の結果を比較することで、出力結果と収束性に問題のないことを示している。

第4章では、第2章で用いた試験材及び大型軸材を対象に、本解析プログラムを用いた熱処理解析を行い、残留応力の測定結果との比較から、解析手法の妥当性を検証している。残留応力測定の結果、水冷を施した試験材 A では熱応力型の分布を示し、空冷を施した試験材 B 及び大型軸材では変態応力型の分布となることを確認し、いずれの試験材においても、実験的に求めた変態塑性挙動を考慮した解析を行うことで、残留応力分布の傾向が実測結果と一致することを明らかにしている。特に大型軸材では、変態塑性に加えてクリープ変形を考慮することで、大径部における引張応力が緩和され、解析精度が向上することを示している。また、変態挙動の応力依存性を考慮することで、相変態がより短時間で進行するために変態塑性及びクリープ変形の影響が大きくなり、大型軸材の解析精

度がさらに向上することを明確にしている。

第5章では、フェライト・ベイナイト変態を生じる ASME SA508 鋼及び JIS SCM420 鋼を用いて、種々の冷却条件において変態塑性挙動を実測し、変態塑性ひずみに及ぼすフェライト相分率の影響を評価している。フェライト相とベイナイト相の相分率は、結晶方位差の違いから定量的に評価することができ、両鋼種とも、ベイナイト変態時の変態塑性ひずみは、フェライト量の増加に伴い減少し、このとき、フェライト相分率とベイナイト変態塑性ひずみの関係は、複相組織における変態塑性ひずみ増分の一般式で整理できることを確認している。このことから、ベイナイト単相変態とフェライト・ベイナイト変態において、ベイナイト変態時の変態塑性挙動に大きな違いがないことを明らかにしている。

第6章では、第5章で用いた SA508 鋼に対して、2通りの冷却条件で熱処理試験を実施し、残留応力に及ぼす冷却条件の影響を評価している。その結果、フェライト変態温度域で保持した場合に、表層の引張残留応力が僅かに大きくなる傾向が得られることを示している、また、連続冷却と等温保持におけるフェライト・ベイナイト変態挙動を測定し、フェライト相とベイナイト相の変態速度式におけるパラメータを同定し、各相の応力-ひずみ曲線、変態塑性挙動、クリープ変形をそれぞれ実験的に測定して定式化している。以上の結果を用いて、フェライト・ベイナイト変態における熱処理解析を実施し、相分率及び残留応力の実測値と比較している。残留応力の解析では、定量評価にまだ課題があるものの、両試験材とも表層で引張残留応力となる傾向は実測値と一致することを示している。

これを要するに、本研究は、大型鍛鋼品の熱処理時に作用する応力を精度良く推定するための数値解析手法の構築に際し、質量効果によって加熱・冷却工程が長時間になることに起因する変態塑性変形およびクリープ変形を同時に解析に考慮することで熱処理時に作用する応力推定の高精度化を行っており、材料強度学分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。