



Title	大型鍛鋼品及びその溶接熱影響部の金属組織に基づく 靭性予測手法の構築
Author(s)	本間, 祐太
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76551">https://hdl.handle.net/11094/76551</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏名（本間祐太）	
論文題名	大型鍛鋼品及びその溶接熱影響部の金属組織に基づく韌性予測手法の構築
論文内容の要旨	
<p>大型鍛鋼品は発電プラントのタービンロータシャフト、化学プラントの石油精製用リアクター及び海洋資源開発機器に適用されるストレスジョイントなど様々あるが、これらの部材の脆性破壊の発生は、極めて甚大な損傷となるため、低温韌性の確保が必須となっていた。大型鍛鋼品はその肉厚ゆえ、焼入れ冷却時に各変態温度域で生成した中間段階変態組織 (<math>Z_w</math>) を含み、良好な強度と韌性を有するにもかかわらず、その組織の複雑さ故に、韌性と金属組織の関係に関する詳細な検討の報告事例はなかった。さらに一般的な大型鍛鋼品は、溶接構造物として利用されるケースもあり、溶接熱影響部も含めて韌性を確保する必要があった。したがって、低温韌性に優れた大型鍛鋼品の製造のためには、HAZも含めた金属組織因子と韌性の関係、さらにはそれを基にした韌性予測手法を構築することが求められていた。</p> <p>これらの背景から、本研究では大型鍛鋼品の <math>Z_w</math> として代表的な塊状のグラニュラーベイニティックフェライト (<math>\alpha_B</math>) と細長のベイニティックフェライト (<math>\alpha_B^o</math>) を対象に、韌性を支配する金属組織因子の明確化及び金属組織を基にした韌性予測手法の構築を試み、それを基にした大型鍛鋼品の韌性改善のための新たな熱処理手法の開発を試みた。さらに、母材で構築した予測手法を HAZ 組織へ適用することも検証した。以下に、本研究にて得られた結論を要約する。</p> <p>第2章では、へき開破面の破面単位に対応する金属組織サイズとして、塊状の <math>\alpha_B</math> では <math>\alpha_B</math> 粒径（大傾角境界で囲まれた粒径）が、細長の <math>\alpha_B^o</math> 組織ではブロック幅（大傾角境界の切片間隔）が挙げられ、各金属組織サイズと破面遷移温度 (FATT) が相関関係を有することを明らかとした。</p> <p>第3章では、金属組織サイズと FATT の関係におけるバラつきが、各金属組織の組織形状（アスペクト比）に起因すると考え、それらの検討を行った。その結果、アスペクト比の増加に伴い、韌性が低下する傾向が示された。さらには、In-situ 引張EBSD試験より、組織形状が細長になるにつれ、変形時の塑性ひずみが局所的に集積することが示され、組織形状による塑性ひずみの集積挙動の違いが韌性を左右する要因となることが示唆された。</p> <p>第4章では、金属組織のアスペクト比を考慮することで、FATTに対応する金属組織サイズが比例関係となることを利用し、FATTを予測するための予測式を構築した。市販材の韌性予測に本手法を適用し、その適用性も確認された。</p> <p>第5章では、海洋構造物用鋼 (Cu含有低合金鋼) の HAZ 組織を対象に、韌性予測手法の適用性を評価した結果、実機の溶接継手の HAZ 組織にて、本予測手法で FATT が予測できることが明らかとなった。また M-A の有無による適用可否を検討するため、溶接熱サイクルを再現した HAZ 組織を用いて検証した結果、母材の予測手法が適用できる M-A 面積率はおよそ 5% 以下であることが示された。</p> <p>第4章より大型鍛鋼品の韌性を改善するための金属組織の作り込みの指標として、<math>\alpha_B</math> 組織の微細化、<math>\alpha_B^o</math> 組織から <math>\alpha_B</math> 組織の改質、<math>\alpha_B^o</math> 組織の微細化及び低アスペクト比化が挙げられたことから、第6章では、これらの組織改質を達成するための新たな手法として二相域焼入れ (L) 処理に着目した。各金属組織に対応した L 处理条件を選定することで、組織改質が達成され、韌性の改善効果が得られた。さらに最適な L 处理条件を適用した開発鋼では、強度を大きく低下させることなく、韌性が飛躍的に向上することが明らかとなった。</p> <p>以上より本論文は、これまで詳細な研究がなされてこなかった大型鍛鋼品の中間段階変態組織を対象に、金属組織を基にした韌性予測手法を構築した。本手法を用いることで、大型鍛鋼品に適用される多層溶接継手の熱影響部も含めた韌性の予測が可能となることが示された。さらに、大型鍛鋼品の金属組織因子を制御できる新たな手法として二相域焼入れ処理を開発し、従来の焼入れ-焼戻し鋼では達成できない韌性レベルの鍛鋼品を製造できることを示した。</p> <p>本研究で構築した韌性予測手法は、中間段階変態組織を有する大型鍛鋼品に広く適用でき、さらには、本手法を活用することで、簡便かつ迅速に鋼の化学組成や熱処理条件などの最適化が可能となるため、本手法は鉄鋼部材の製造における極めて有用な手法となると考えられた。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (本間祐太)		
論文審査担当者	(職)	氏名
	主査 教授	南二三吉
	副査 教授	井上裕滋
	副査 教授	伊藤和博
	副査 教授	大畠充

## 論文審査の結果の要旨

海洋構造物や石油精製用圧力容器などに適用される厚肉の大型鍛鋼品は、焼入れ時（調質時）の冷却速度が遅いために、冷却過程の各変態温度域で生成する複雑な中間段階変態組織( $Z_w$ )を有する。時には塊状の粗大な $Z_w$ や大きな針状の $Z_w$ が生成することがあり、その場合には韌性が低下して、延性-脆性遷移温度(FATT)が実機の最低使用温度を上回り、耐破壊安全性を脅かすようになる。そのため、大型鍛鋼品の組織と韌性の関係を明らかにし、製造プロセスで得られる組織情報から韌性を予測できる手法の開発が期待されている。

本研究はこのような背景から、厚肉大型鍛鋼品の韌性を支配する組織因子を明らかにし、組織因子から厚肉大型鍛鋼品とその溶接熱影響部のFATTを予測する手法を構築するとともに、大型鍛鋼品の韌性改善のための新しい調質手法の開発を行っている。本論文で得られた主な結論をまとめると以下のようである。

(1) 大型鍛鋼品の特徴的な中間段階変態組織( $Z_w$ )は、粒状のベイニティックフェライト( $\alpha_B$ )と細長のベイニティックフェライト( $\alpha^0_B$ )で、低C-Cu含有低合金鋼やC-Mn鋼及びMnNiMo鋼は $\alpha_B$ 、CrMoV鋼や高C-Cu鋼は $\alpha^0_B$ を呈する。 $Z_w$ が $\alpha_B$ の場合、FATTはその平均粒径に、 $\alpha^0_B$ の場合はそのブロック幅（結晶方位差15°以上の大角境界で区切られた切片間隔と定義）に支配され、これらの寸法が大きくなると延性-脆性遷移温度(FATT)が高くなる傾向にある。また、 $\alpha_B$ の方が $\alpha^0_B$ に比べてFATTが低く、韌性が良好である。

(2) 中間段階変態組織( $Z_w$ )がベイニティックフェライト( $\alpha^0_B$ )のFATTは、 $\alpha^0_B$ のアスペクト比（細長比）にも依存し、アスペクト比が大きくなるとFATTが高くなる傾向にある。これらより、大型鍛鋼品のFATTを支配する金属組織因子は、 $Z_w$ が $\alpha_B$ の場合はその平均粒径、 $\alpha^0_B$ の場合はそのブロック幅とアスペクト比といえる。

(3) 中間段階変態組織( $Z_w$ )が $\alpha^0_B$ の方が $\alpha_B$ に比べてFATTが高く、また $\alpha^0_B$ のアスペクト比が大きくなるとFATTが高くなるのは、組織内のひずみ挙動と関係し、アスペクト比の大きい細長の組織形態となると塑性ひずみの局的集中が生じることが原因している。

(4) 金属組織因子( $Z_w$ が $\alpha_B$ の場合は平均粒径、 $\alpha^0_B$ の場合はブロック幅とアスペクト比)をパラメータとして、大型鍛鋼品のFATTを予測する相関式(予測式)を構築し、市販の大型鍛鋼品に対してその適用性を確認している。また、大型鍛鋼品実機では溶接熱影響部(HAZ)の材質劣化が懸念されるが、多層溶接の後続熱サイクルでマルテンサイト-オーステナイト(MA)を無害化することで、母材のFATT予測式がHAZにも適用できることを確かめている。

(5) 大型鍛鋼品のFATTは、中間段階変態組織( $Z_w$ )が $\alpha_B$ の場合は平均粒径、 $\alpha^0_B$ の場合はブロック幅とアスペクト比に支配されることをふまえ、これらの金属組織因子を制御できる新しい二相域焼入れ処理法(L処理法)を開発し、大型鍛鋼品の大幅な韌性改善を図っている。

以上のように、本論文は厚肉大型鍛鋼品を対象として、金属組織の情報のみからFATTを予測できる手法を構築し、その適用性を溶接熱影響部も含めて検証するとともに、組織因子を制御して大型鍛鋼品の韌性改善を図る新しい二相域焼入れ処理法(L処理法)を開発している。研究開発された手法は、厚肉鍛鋼品を必要とする海洋構造物や石油精製用圧力容器などの大型構造物に適用でき、材料科学及び我が國のものづくり技術の発展に資するところが大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。