



Title	大入熱サブマージアーク溶接金属の強度、韌性に及ぼす各種合金元素の影響とその最適化に関する研究
Author(s)	堀井, 行彦
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39436">https://hdl.handle.net/11094/39436</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	堀 井 行 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	第 1 2 1 1 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 7 年 1 0 月 4 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	大入熱サブマージーク溶接金属の強度、靱性に及ぼす各種合金 元素の影響とその最適化に関する研究 (主査)
論 文 審 査 委 員	教 授 松 田 福 久 教 授 向 井 喜 彦      教 授 豊 田 政 男      教 授 小 林 紘 二 郎 教 授 牛 尾 誠 夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は Ti, B 添加型溶接金属の強度, 靱性, 組織に及ぼす諸因子を (1) 柱状晶部と (2) 再熱部とに分け, かつ, 溶接のまま (AW) と (3) 後熱処理 (PWHT) 後とに分けて検討し, 大入熱溶接で  $-60^{\circ}\text{C}$  以下の低温仕様に適用できる TMCP 鋼に適合した溶接金属の最適成分設計手法を述べたものであり, 7 章からなる。

第 I 章では, 本研究の必要性, 目的を述べ, 論文の全体構成を示している。

第 II 章では, 対象とする大入熱溶接の特徴と現行の溶接材料の入熱依存性および問題点を整理している。また,  $^{198}\text{Au}$  をトレーサとして溶融金属の混合攪拌を検討し, 大入熱溶接では溶融池内の混合は十分行われており, このフラックスから元素を添加する試験手法が妥当であることを示している。

第 III 章では, 柱状晶部の強度, 靱性, 組織に及ぼす 1) 強化元素, 2) 強脱酸元素, B および O の影響を検討している。とくに重要なアシキュラーフェライト (AF) の生成条件を詳しく調べ, AF 変態核として  $\alpha$  鉄との格子整合性の良いスピネル型酸化物の形成を確保すること, それには Al, Ti の酸化が必須なことを述べている。さらに, 溶融池では O との親和力の強い順に脱酸反応が進行し, Ti, B の酸化度は Al/O 比に支配され, Ti が酸化するには Al/O 比  $< 1.125$  (0.6–0.8 が望ましい) が必須なこと, また, Al/O 比の制御により, 従来高靱性が困難とされていた 100~200ppm の低 O 域でむしろ低 O 程高靱性となり好ましいこと, 最高の靱性が得られる AF が主体の組織では TS600~650N/mm<sup>2</sup> となることなどを明らかにしている。

第 IV 章では, まず再熱部の脆化挙動を明らかにし, つぎに元素の影響を検討している。最高到達温度と脆化要因の相違から, 粗粒域, 細粒域, 2 相域および焼戻し域に分け, 粗粒域, 細粒域が他の再熱域より脆化が大きいこと, 前者では粒界フェライトが, 後者では島状マルテンサイトが脆化の主因であること, 低 C–低 O–Ni 系が最適成分系であることなどを明らかにしている。

第 V 章では, PWHT の脆化挙動を解析し, 析出脆化と焼戻し脆化の 2 種があるが, 多くは両者の複号であること, 一般に高強度ほど脆化感受性が大きい, 同一強度では Mo, Ni の添加および低 C, 低 P 化が脆化軽減に有効であることを明らかにしている。

第VI章では、実施工に必要な溶接材料を(1)柱状晶部のみからなりAWで使用されるもの、(2)再熱脆化の考慮も必要なもの、(3)AW, PWHT対策の両方が必要なものの3種に分け、第III～第V章を総合化した各々の最適成分設計の考え方を提案している。また、それに基づき、氷海域海洋構造物、耐サワ鋼管用シーム溶接金属などの溶接材料を作成し、実構造物に適用して、この最適成分設計指針の妥当性を確認している。

第VIIでは、各章を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

Ti, B添加型溶接金属を用いたサブマージーク溶接法は、すでに大入熱で高性能な溶接法として、厚板の溶接などに広く利用されているが、それらの構造物の適用温度の大半は $-2^{\circ}\text{C}$ 以上である。しかし、最近の石油開発は深海底や極低温地域が多く、そのような地域の構造物にTi, B添加型溶接金属を適用するには、大入熱溶接において $-60^{\circ}\text{C}$ 以下の低温度での強度と靱性を確保できる溶接部とする必要がある。鋼材は制御圧延・冷却技術(TMCP)により、溶接性が著しく改善されているため、これに見合った溶接材料の開発が現在必要とされている。Ti, B添加型溶接金属について、低入熱溶接条件下での柱状晶部における靱性支配因子はすでに明らかにされているが、大入熱溶接下でのこれらに対する研究は少ない。とくに、海洋構造物で適用されるCTOD特性を良好とするには、板厚方向の全領域を高靱性にする必要があるが、次層の溶接による再熱部の特性に関する系統だった研究が十分なされていない。

本論文は、Ti, B添加型大入熱溶接金属の靱性支配因子を柱状晶部と再熱部に分け、さらに、PWHTの有無に分けて解明し、実施工法に適した総合的な最適成分設計を明らかにしようとしたものであり、得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) 柱状晶部の靱性を組織制御の観点から検討を行い、生成酸化物の形態により組織が異なり、高靱性なアシキュラーフェライトは $\alpha$ 鉄との格子整合性の良いスピネル型酸化物の時に生じること、非晶質型酸化物ではベイナイトとなることを明らかにしている。
- (2) 酸化物の解析を行いスピネル型酸化物の生成条件を明らかにし、Al, Tiの酸化、Al/O比の制御が必須なことを明確にしている。とくに、Al/O比 $< 1.125$ の一定値であれば、低O程高靱性となることを示し、従来、各報告者により異なっていたOの適正量がAl/O比により一元的に説明可能となることを明らかにしている。
- (3) 各元素の溶融池での形態別量的把握の推定法を構築し、Bの適性量は従来の知見の窒化消耗だけでなく、酸化消費量をも考慮した適性量とすべきことを明らかにしている。
- (4) 各元素の柱状晶部の強度、靱性に及ぼす影響を明らかにし、最適成分系として低C-Ni-低O系を見いだしている。
- (5) 再熱溶接金属は最高到達温度、脆化挙動および脆化原因などより4種に分類できることを示し、とくに粗粒域および細粒域の脆化が大きく、かつ、対策が両温度域で相反することを見いだしている。
- (6) 再熱脆化対策のために各元素の影響を検討し、低Cによる島状マルテンサイトの低減、Ni添加による粒界フェライトの抑制、低Oによる高靱性化が有効であることを明らかにしている。
- (7) PWHT脆化は高強度程大きく、可能な限り低強度に設計する必要があることを明らかにし、成分設計が容易にできるように各元素量と冷却速度から強度が予測できる推定式を作成している。
- (8) PWHT脆化の原因の多くは析出脆化と焼戻し脆化の複合脆化であることを示し、従来析出脆化を助長するとされていたNbも、Pの偏析を助長し焼戻脆化を促進する効果大きいことを明らかにしている。そしてPWHT脆化対策として、低C、低Pによる高純化およびNi, Moの添加による強度確保が有効であることを実証している。
- (9) 以上の結果を基に実施工に必要な、総合的最適溶接金属成分設計の指針をまとめ、各種のTMCP鋼に適した片面一層、両面一層および多層溶接用材料を設計、試作し、その設計指針の有効性を実構造物に適用し実証している。

以上のように、本論文は大入熱サブマージーク溶接におけるTi, B添加型溶接金属の強度、靱性に及ぼす諸因子を、

柱状晶部と再熱部とに分けて基礎的に解析し、溶接のままおよびPWHT後などの目的に応じた最適成分を確率し、実用的な溶接用材料を開発したものであり、その成果は溶接工学ならびに生産加工技術の発展に貢献するところ大である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。