



Title	炭素鋼の梨形ビード割れ対策と連成解析による割れ抑制メカニズムの検討
Author(s)	佐原, 直樹
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101661
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (佐原 直樹)

論文題名 炭素鋼の梨形ビード割れ対策と連成解析による割れ抑制メカニズムの検討

論文内容の要旨

本論文では、高能率溶接において依然として問題となっている梨形ビード割れを防止するために、炭素鋼の梨形ビード割れ対策を新たに確立するとともに、理論解析により梨形ビード割れ抑制メカニズムを明らかにすることを目的とした。本論文は、緒論を含めて8章から構成される。

第2章では、梨形ビード割れ研究の推移を調査するとともに、梨形ビード割れ研究の現状と課題についてまとめた。また、凝固割れ研究、特に炭素鋼の凝固割れに対する材料学的研究の現状と課題についてまとめ、本研究の目的を明確にした。

第3章では、炭素鋼の梨形ビード割れに対する材料学的対策の確立に向けて、凝固割れ感受性に対する基礎的検討を行った。市販材の凝固脆性温度範囲 (BTR) を評価し、溶接金属組織に対する元素分析を行った。また、炭素鋼のBTR支配要因を解明するため、BTRに対する理論的検討を行った。その結果、炭素鋼においてMX型生成相 (TiC) 晶出を活用して、炭素鋼のBTRに最も悪影響であるCの凝固偏析を軽減させることができれば、BTR低減に有効である可能性が示唆された。

第4章では、炭素鋼のBTRに対するTi添加効果について検討した。実験および理論の双方において、Ti適正添加によるBTR低減効果が確認された。その影響メカニズムならびにTi適正添加範囲を明らかにするため、0.05～0.20%CのTi変量材に対して理論的検討を行った。固液共存温度範囲 (T_l - T_c) には最小値を示すTi量が存在しており、適正Ti量はC量に応じて異なっていた。 $(T_l$ - $T_c)$ の変化はTiC晶出挙動に基づく凝固完了温度 (T_c) の変化に起因しており、 $(T_l$ - $T_c)$ および (T_c) はC量によらずTi/C比で一律に整理できた。Ti適正添加範囲はTi/C=5～8であり、C量によらずTi適正添加によりBTRを0.05%C鋼と同等の約50 Kにまで低減できることを明らかにした。

第5章では、Ti添加に伴うBTR低減が梨形ビード割れ防止に及ぼす効果について実験的検証を行った。0.15%C (基準材) では、溶接速度20 cm/minを除いて溶込み形状比 (P/W比) が0.98以上になると梨形ビード割れが発生しており、P/W比により梨形ビード割れ発生を一律に整理可能であった。一方、溶接速度20 cm/minではP/W比が割れ発生閾値 (P/W=0.98) を超えていながら、梨形ビード割れは発生しなかった。0.15%C-0.95%Ti (対策材) ではP/W比が1.0を超える場合でも梨形ビード割れは一切確認されず、化学組成の最適化に基づくBTR低減 (材料学的対策) により梨形ビード割れを防止できることを明らかにした。

第6章では、溶接条件 (P/W比) およびBTR低減に基づく梨形ビード割れ抑制メカニズムを明らかにするため、高温延性曲線、ひずみ挙動に対する理論的検討を行った。各溶接条件の冷却速度に基づく (T_l - T_c) の変化量が非常に小さかったことから、熱弾塑性解析よりBTR間のひずみ挙動を評価した。0.15%Cでは、P/W比の増加に伴いひずみの立ち上がりが大きくなっており、溶接速度20 cm/minを除いてP/W比の低減に基づくひずみの抑制により梨形ビード割れが防止されることを明らかにした。また、Ti添加に伴うBTR低減によって凝固が早期に完了するため、(T_c) 付近の延性値 (最低延性値) が増加し、BTR間のひずみ増分は減少した。すなわち、これら重畳により梨形ビード割れが防止されることを明らかにした。

第7章では、0.15%Cの溶接速度20 cm/minにおいてP/W比が割れ発生閾値 (P/W=0.98) を超えていながら梨形ビード割れが発生しなかった要因を明らかにするため、凝固組織形態に関する理論的検討を行った。組織観察およびモンテカルロ法による凝固組織形態予測から、溶接速度20 cm/minでは最終凝固部のビード中央上部で等軸晶化が生じることが示された。等軸晶化は個々の粒界におけるひずみ抑制に加えて、凝固偏析軽減によるBTR低減と延性値増加に寄与するものと考えられ、低溶接速度ではひずみ抑制と等軸晶化により梨形ビード割れが防止されることを明らかにした。

第8章では、本研究の成果を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (佐 原 直 樹)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	才田 一幸
	副 査	教授	平田 弘征
	副 査	准教授	門井 浩太 (接合科学研究所)

論文審査の結果の要旨

本論文では、溶接施工において未だ問題となっている梨形ビード割れを防止し、生産工程における梨形ビード割れの問題を解決するために、炭素鋼の梨形ビード割れ対策を新たに確立し、理論解析により割れ抑制メカニズムを明らかにすることを目的としている。本論文は、諸論を含めて8章から構成されている。

第2章では、梨形ビード割れの研究推移を調査するとともに、従来知見と課題を整理している。また、凝固割れ研究、特に炭素鋼の凝固割れに対する材料学的研究に関して従来知見と課題を整理することで、本研究の目的を明確にしている。

第3章では、炭素鋼の梨形ビード割れに対する材料学的対策の確立に向けて、凝固割れ感受性に対する基礎的検討を行っている。市販材の凝固脆性温度範囲 (BTR) を評価し、溶接金属組織を観察するとともに、炭素鋼の BTR 支配要因を解明するため、BTR に対する理論的検討を行っている。その結果、炭素鋼の BTR 低減に有効な可能性がある基礎的知見を得ている。

第4章では、前章での基礎的知見を踏まえて、炭素鋼の BTR に対する Ti 添加効果を解明することを目的としている。実験および理論の双方から Ti 適正添加による BTR 低減効果について検討し、理論的検討結果に基づきその影響メカニズムならびに Ti 適正添加範囲を明らかにしている。これらの検討より、C 量によらず Ti 適正添加により BTR を低減できることを明らかにしており、Ti 添加による BTR 低減策を新たに確立している。

第5章では、Ti 添加による BTR 低減が梨形ビード割れ防止に及ぼす効果について実験的検証を行っている。実継手を想定した狭間先 MAG 溶接試験を基準材 (0.15%C) および対策材 (0.15%C-0.95%Ti) に対して行い、溶込み形状比 (P/W 比) に基づき梨形ビード割れ発生を系統的に評価している。その結果、梨形ビード割れ発生挙動を整理するとともに、化学組成の最適化に基づく BTR 低減 (材料学的対策) により梨形ビード割れを防止できることを明らかにしている。

第6章では、溶接条件 (P/W 比) および BTR 低減に基づく梨形ビード割れ抑制メカニズムを明らかにするため、高温延性曲線、ひずみ挙動に対する理論的検討を行っている。高温延性曲線、ひずみ挙動に対する P/W 比および BTR 低減の影響を明らかにすることで、それらによる梨形ビード割れ抑制メカニズムについて考察している。

第7章では、基準材 (0.15%C) の低溶接速度における梨形ビード割れ抑制メカニズムを明らかにするため、凝固組織形態に関する理論的検討を行っている。まず、オーステナイト単相材を用いてモンテカルロ法による凝固組織形態予測の妥当性を検証している。その後、組織観察およびモンテカルロ法による凝固組織形態予測から低溶接速度において等軸晶化が生じることを明らかにしている。最終的に、前章までの梨形ビード割れ発生挙動やひずみ挙動を踏まえて、低溶接速度での等軸晶化による梨形ビード割れ抑制メカニズムについて考察している。

第8章では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文では梨形ビード割れを防止するために材料学的対策を新たに確立し、その有効性を検証している。また、溶接条件および化学組成に基づく梨形ビード割れ抑制メカニズムを BTR および凝固組織形態予測に基づくひずみ挙動の連成解析により明らかにしており、高能率溶接における梨形ビード割れを総合的に防止できる知見を得ている。これらは、溶接施工の信頼性ならびに生産性向上に貢献するものであり、工業的および学術的に重要な研究成果であるといえる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。