

Title	Inconel 718鋳造合金のレーザ溶接部のHAZ割れに関する研究
Author(s)	禹, 仁秀
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42060">https://hdl.handle.net/11094/42060</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">〈a href="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">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏名	う 禹 仁 秀
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 4 3 9 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	Inconel 718 鑄造合金のレーザー溶接部の HAZ 割れに関する研究
論文審査委員	(主査) 教 授 西本 和俊  (副査) 教 授 小林紘二郎 教 授 菊地 靖志 助教授 才田 一幸

#### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、Inconel 718 鑄造合金にレーザー溶接を適用した場合に問題となる、HAZ 割れの支配因子、発生機構およびその改善策について研究した結果をまとめたものであり、以下の8章で構成されている。

第1章は緒論であり、研究の背景ならびに問題点を指摘し、本研究の必要性ならびに目的について述べている。

第2章では、Inconel 718 合金の開発歴史と特徴について述べた後、鑄造材の溶融溶接に関する研究の現状を概説するとともに、レーザー溶接を適用した場合に生じる問題点、HAZ の液化割れ発生機構に関する研究の現状と課題となっている不明な点について述べている。

第3章では、レーザー溶接プロセスパラメータとビード断面形状および溶接欠陥の関連性を調査し、溶接割れは、特にビードネックのくびれ部に近接した HAZ に集中して発生することを示している。また、Inconel 718 鑄造合金における HAZ の液化割れは、マトリックスの固相線温度以下で Laves cluster が液化することによって生じた粒界液化が材料側の主たる原因であることを明らかにしている。

第4章では、バレストレイン試験法および拘束緩和式 U 型高温割れ試験法を用い、HAZ 割れ感受性に及ぼす結晶粒径および均質化熱処理の影響を定量的に調査し、結晶粒微細化および均質化熱処理により HAZ 割れ感受性が低減されることを明らかにしている。また、結晶粒微細化および均質化熱処理により HAZ 割れ感受性が低下するのは、Laves cluster の粒界占有率の低下および粒界液化開始温度の上昇に起因した粒界液化率の減少が主たる原因であることを明らかにしている。

第5章では、HAZ 部の粒界液化、温度およびひずみ分布について数値解析を行い、HAZ の液化割れが、マトリックスの固相線温度以下で共晶融解した Laves cluster の融液が粒界に沿って侵入し、その後の冷却過程で低融点の  $\gamma$  + Laves の液膜を形成した粒界に熱収縮によるひずみが作用することにより発生することを明らかにしている。また、レーザー溶接部のビードネックのくびれ部に近接した HAZ で HAZ 割れが多く発生するのは、割れ発生温度範囲が広いこと、ならびに高い引張ひずみが負荷された状態で冷却に要する時間が長いことに起因することを明らかにしている。

第6章では、Inconel 718 鑄造合金の HAZ 割れの改善を目的とし、La および Ce を添加した Inconel 718 鑄造合金について各種溶融溶接部の HAZ 割れ感受性を調査し、La および Ce を 0.2~0.3mass % 範囲で添加することより、TIG およびレーザー溶接部の HAZ 割れをほぼ完全に防止できることを示している。また、La および Ce を添加することに

より HAZ 割れ感受性が改善される主たる原因は結晶粒微細化により Laves cluster の粒界占有率が低減されること、および、La および Ce が S を硫化物として固定することにより Laves cluster 内の S 偏析量を低減させ、その結果として粒界液化開始温度を上昇させたことによることを明らかにしている。

第 7 章では La 添加材の溶接継手の確性試験としてレーザー溶接継手の引張性質の調査より、約 0.3mass % La を添加した Inconel 718 鑄造合金溶接継手は母材と同程度の機械的特性を有していることを示し、約 0.3mass % の La 添加により母材の機械的特性を劣化させることなく HAZ 割れ感受性を大幅に改善できることを明らかにしている。

第 8 章では本研究で得られた結果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は Inconel 718 鑄造合金にレーザー溶接を適用した場合に重要な問題点となる HAZ 割れの発生機構を明らかにすることを目的として、割れ感受性の支配因子を調査するとともに、その主たる要因について理論的解析を行っている。続いて、HAZ 割れ改善方策の指針を得ることを目的として結晶粒の微細化と同時に有害な S などの不純物元素の固定が期待できる希土類元素 (Ce, La) を添加した Inconel 718 鑄造合金について HAZ 割れ感受性を評価し、耐割れ性に対する希土類元素添加の効果について検討している。本研究で得られている主な知見は以下のとおり要約される。

- (1) レーザ溶接プロセスパラメータとビード断面形状および溶接割れ発生状況の関連性を調査し、溶接割れは HAZ の液化割れであり、特にビードネックのくびれ部に近接した HAZ に集中して発生することを示している。また、このような HAZ の液化割れは、主として粒界に存在する Laves cluster が液化することによって生じた粒界液化が材料側の主たる原因であることを明らかにしている。
- (2) バレストレイン試験法および拘束緩和式 U 型高温割れ試験法を用い、HAZ 割れ感受性に及ぼす結晶粒径および熱処理の影響を調査した結果、結晶粒微細化および Laves cluster を固溶させる均質化熱処理により HAZ 割れ感受性が低減されることを明らかにしている。また、いずれの場合も HAZ 割れ感受性が低下するのは、Laves cluster の粒界占有率の低下および粒界液化開始温度の上昇に起因した粒界液化率の減少が主たる原因であることを明らかにしている。
- (3) HAZ 部における粒界液化現象の数値解析を行った結果、HAZ の液化割れが、マトリックスの固相線温度以下で共晶融解した Laves cluster の融液が粒界に沿って侵入し、その後の冷却過程で低融点の  $\gamma$  + Laves の液膜を形成した粒界に熱収縮によるひずみが作用することにより発生することを明らかにしている。また、レーザー溶接部のビードネックのくびれ部に近接した HAZ で割れが多く発生するのは、この領域で割れ発生温度域での温度勾配が緩やかとなること、ならびに溶接過程で高い引張ひずみが負荷された状態での滞留時間が長いことに起因することを明らかにしている。
- (4) Inconel 718 鑄造合金の HAZ 割れの改善を目的とし、Inconel 718 鑄造合金に La および Ce を添加した場合について HAZ 割れ感受性を調査した結果、La および Ce を 0.2~0.3mass % 範囲で添加することより、レーザー溶接部の HAZ 割れをほぼ完全に防止できることを示している。また、La および Ce を添加することにより HAZ 割れ感受性が改善される主たる原因は結晶粒微細化により Laves cluster の粒界占有率が低減されること、および、La および Ce が S を硫化物として固定することにより Laves cluster 内の S 偏析量を低減させ、その結果として粒界液化開始温度を上昇させたことによることを明らかにしている。

- (5) 第 7 章では La 添加材の溶接継手の確性試験としてレーザー溶接継手の引張性質の調査より、約 0.3mass % La を添加した Inconel 718 鑄造合金溶接継手は母材と同程度の機械的特性を有していることを示し、約 0.3mass % の La 添加により母材の機械的特性を劣化させることなく HAZ 割れ感受性を大幅に改善できることを明らかにしている。

以上のように本論文は、Inconel 718 鑄造合金におけるレーザー溶接部の HAZ 割れについて、その現象の特徴、支配要因に関して実験的および理論的解析を行い、HAZ 割れの発生機構を明らかにしている。さらに、HAZ 割れ感受性の低減方法として希土類元素 (La, Ce) 添加の有効性を明らかにし、HAZ 割れ感受性の改善手法の指針を示してい

る。これらの知見は産業機械分野の基幹材料として用いられている Inconel 718 鑄造合金の溶接性の改善に対して重要な示唆を与えることが展望され、その成果は、生産科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。