



Title	二相ステンレス鋼溶接金属の475 ° C脆化に関する研究
Author(s)	坂田, 幹宏
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/92949">https://doi.org/10.18910/92949</a>
rights	
Note	

*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 (坂田 幹宏)

論文題名 二相ステンレス鋼溶接金属の 475 °C 脆化に関する研究

## 論文内容の要旨

二相ステンレス鋼は、その工業的利用の大部分において溶接構造物として使用されている。二相ステンレス鋼の 475 °C 脆化に関して、溶体化処理を施した母材を対象とした研究はこれまでに多く行われているが、溶接金属を対象とした報告は極めて少ない。本論文では、二相ステンレス鋼溶接金属における 475 °C 脆化の支配因子を解明することを目的として、商用の溶接材料を用いてアーク溶接により作製した多層盛溶接金属について、溶接金属特有のマイクロ組織形態が 400 °C で 1000 h までの時効に伴って生じる脆化に及ぼす影響を調査し、さらに、時効に伴ってフェライト相中で生じるナノメートルオーダーの組織変化と脆化挙動の関係を明らかにした。本論文は全 6 章から構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景と課題を示し、本研究の必要性ならびに目的を述べた。

第 2 章では、二相ステンレス鋼の母材、溶接金属それぞれの凝固形態とマイクロ組織、それらの相違点を論述した。次いで、250~500 °C で生じる二相分離や溶質元素クラスターなどのナノ組織形成とそれに伴う脆化挙動について、従来研究によって明らかとなっている知見および問題点を示し、本研究で取り組むべき内容を明確にした。

第 3 章では、汎用性の最も高い二相ステンレス鋼である 22% Cr 系二相ステンレス鋼の母材と多層盛溶接金属の比較によって、フェライトとオーステナイトの相比や合金元素の分配など、溶接金属特有のマイクロ組織形態を明確にし、これらが 400 °C における 1000 h までの時効に伴って生じる脆化ならびにフェライト、オーステナイト各相の硬化に及ぼす影響を調査した。これらの結果から、溶接金属においては、フェライト相中の高い Ni 含有量によって脆化が促進されることを示した。

第 4 章では、第 3 章で作製した 22% Cr 系二相ステンレス鋼の母材と溶接金属に対して、主に走査型透過電子顕微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscope, 以下 STEM) を用いた組織観察を行い、時効に伴ってフェライト相中で生じるナノメートルオーダーの組織変化と硬化の関係を把握することによって、475 °C 脆化の組織的な要因を明らかにした。さらに、溶接金属における 475 °C 脆化の促進は、フェライト相中の高い Ni 含有量による二相分離の加速ならびに G 相前駆体の生成促進によるものであることを示した。

第 5 章では、二相分離に影響するとされている Cr の含有量に着目し、第 3, 4 章で用いた 22% Cr 系に加え、25% Cr 系二相ステンレス鋼溶接金属について、400 °C における 1000 h までの時効によるマイクロ組織形態の変化やフェライト、オーステナイト各相の硬化挙動を比較した。加えて、STEM による観察と熱力学平衡計算の援用によって、フェライト相内でのナノ組織形成挙動と硬化挙動の関係を調査した。その結果、25% Cr 系溶接金属においては、フェライト相中の高い Cr, Ni, Mo 含有量による二相分離の加速によって時効の初期 (~150 h) の硬化が大きくなるが、22% Cr 系溶接金属においては、低い Cr 含有量ならびに高い Mn 含有量による G 相前駆体生成の促進によって、時効の後半 (~1000 h) の硬化が大きくなることを見出した。さらに、二相ステンレス鋼溶接金属の 475 °C 脆化抑制のための化学組成について検討し、Mn 含有量の低減が有効であることを導出した。

第 6 章では、本研究で得られた結果を通観し、総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 坂田 幹宏 )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	門井 浩太
	副 査	教授	才田 一幸
	副 査	教授	平田 弘征

## 論文審査の結果の要旨

工業的な適用拡大が進められている二相ステンレス鋼では、250～500℃に一定時間以上さらされると、475℃脆化と呼ばれる脆化現象が生じる。そのため、二相ステンレス鋼の溶接構造物の使用温度は、475℃脆化を避けるように設定されるものの、長い期間の使用などによって脆化が生じることが知られている。二相ステンレス鋼の475℃脆化の主要因は、フェライト相の二相分離や、金属間化合物の析出などとされてきたが、溶接部を対象とした脆化現象を調査した例は極めて少ない。特に、溶接金属は、溶接特有の急速な加熱冷却過程を経ること、母材と異なる化学組成を有することから、従来溶体化処理した母材とは異なる脆化現象を示すと考えられる。そのため、主として溶接構造物として使用される二相ステンレス鋼の溶接金属部における475℃脆化の支配因子を明確にした上での、運用条件や寿命評価を行うことが必要不可欠である。そこで本論文では、二相ステンレス鋼溶接金属部での475℃脆化を対象として、脆化に対するCr含有量の影響や、400℃にて1000hまでの時効時間で生じる脆化現象を系統的に調査している。特に、脆化の要因とされる二相分離やフェライト中で生ずる元素クラスター形成などの組織変化をナノメートルオーダーで検討することにより、475℃脆化に対する組織的な支配因子を明らかにし、脆化低減に有効な化学組成を導いている。本論文で得られた主たる結論は以下の通りである。

- (1) 22%Cr系二相ステンレス鋼の母材と溶接金属について時効に伴う脆化挙動を検討し、溶接金属の方が、母材に比して脆化が促進され、脆化は主としてフェライト相で生じることを明らかにしている。
- (2) 22%Cr系二相ステンレス鋼の母材および溶接金属のフェライト相では、時効に伴い二相分離と重畳して同一箇所ではNiとMnが濃化し、これは、時効温度での平衡相であるG相の前駆体（元素クラスター）であることを見出している。したがって、溶接金属における475℃脆化の促進は、主に母材に比して高いNi含有量に起因したNiとMnの濃化に伴うG相前駆体生成の促進とフェライト相の二相分離によって、母材よりも促進されることを明らかにしている。
- (3) Cr含有量の異なる二相ステンレス鋼溶接金属の時効に伴う脆化は、短時間側（～150h）では25%Cr系にて、長時間側（1000h）では22%Cr系にて、それぞれ促進されることを明らかにしている。これは、短時間側では、フェライト相中のCr、Ni、Mo含有量が高い25%Cr系において二相分離が促進されるのに対し、長時間側では、フェライト相中のCr含有量が低く、Mn含有量が高い22%Cr系においてG相の生成が熱力学的に安定となるため、G相の前駆体である元素クラスターの生成に伴う硬化が助長されるためであることを見出している。さらに、G相の熱力学的な安定性は、二相分離に伴うCr濃度の振幅に依存することを導出している。
- (4) 二相ステンレス鋼溶接金属の475℃脆化の抑制には、Mn含有量の低減によって時効の長時間側で生じるG相前駆体（元素クラスター）の生成を抑制することが有効であるとする結論を導出している。

以上のように、本論文は二相ステンレス鋼溶接金属の475℃脆化について、組織的な支配因子を化学組成とナノ組織形成の観点から明らかにし、極めて有用な知見を多く含んでおり、二相ステンレス鋼製溶接構造物の溶接材料の選定、長期安全運用などに大きく寄与できると期待できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。