

Title	フェライト/オーステナイト2相ステンレス鋼のシグマ相析出挙動
Author(s)	前原, 泰裕
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/33824">https://hdl.handle.net/11094/33824</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・(本籍)	まえ 前	はら 原	やす 泰	ひろ 裕
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	6282	号	
学位授与の日付	昭和59年1月24日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
学位論文題目	フェライト/オーステナイト2相ステンレス鋼のシグマ相析出挙動			
論文審査委員	(主査) 教授 藤田 英一			
	(副査) 教授 成田信一郎 教授 山田 安定 教授 稔野 宗次			
	教授 清水 謙一 助教授 大嶋隆一郎			

### 論文内容の要旨

$\delta$ -フェライトとオーステナイト ( $\gamma$ ) からなる2相ステンレス鋼は耐食性をはじめとする諸性質に優れておりその需要が急激に増大しているが、シグマ ( $\sigma$ ) 相の析出によって脆化しやすく製造現場での問題が多発している。その原因は従来2相ステンレス鋼の $\sigma$ 脆化を回避するための知見が欠如していたことにある。本研究では耐食性に優れているが製造中に $\sigma$ 脆化しやすい25%Cr-7%Ni-3%Moを基本成分とする2相ステンレス鋼の $\sigma$ 相析出挙動とそれにおよぼす加工、熱履歴、合金元素の影響および $\sigma$ 相の析出が機械的性質におよぼす影響について系統的に研究した。時効に伴う組織変化を光学顕微鏡とSEM, TEMによって観察し、X線回折法によって $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$ 各相を定量した。また時効に伴う元素分配との関連において各相の化学組成をEPMAとSTEM-EDXによって、組織と破壊との関連をSEMで調べた。

$\sigma$ 相の析出は約820℃で最も速く、 $\delta/\gamma$ 2相域で溶体化処理した後の時効では約20分で析出が始まり、等温析出曲線図と連続析出曲線図はC型となる。 $\sigma$ 相の析出は $\delta \rightarrow \sigma + \gamma^*$  ( $\gamma^*$ は時効により生成した $\gamma$ 相)による共析反応を主体として起こり、 $\gamma$ と $\sigma/\gamma^*$ との層状組織が形成される。この反応は次の過程により進行する。すなわち、 $\sigma$ 相の析出に先行して $M_{23}C_6$ が $\gamma/\gamma$ 粒界に一方の $\gamma$ 粒とあるいは $\delta/\gamma$ 界面に $\gamma$ 粒といずれも平行な結晶方位関係をもって析出し、後者の $M_{23}C_6$ 粒子は $\gamma$ が成長した $\gamma^*$ との共析組織を形成しながら $\delta$ -フェライト側へ背後の $\gamma$ から供給されるC原子を消費し尽すまで成長する。 $\sigma$ 相は $\delta$ 側へはり出した $\delta/\gamma^*$ 界面から $\gamma^*$ との間に $(111)\gamma // (001)\sigma$ ,  $[\bar{1}01]\gamma // [110]\sigma$ のNennoの方位関係をもって析出し、 $\gamma^*$ との共析組織を形成して $\delta$ 中へ成長するが別の $\sigma$ や $\gamma$ 粒と衝突すればお互いに方位関係をもたない両者が絡み合った複雑な共析組織となる。時効前の $\delta$ と $\gamma$ にはそれ

ぞれCr, Mo, W, Si など, Ni, Mn などが濃縮しており, 時効により  $\delta$  中の Cr や Mo がさらに濃縮して  $\sigma$  相となり残りが  $\gamma^*$  となる。

$\sigma$  相の析出は時効前の冷間加工のみならず熱間加工によっても促進され, さらに熱履歴により大きく影響を受ける。すなわち, 時効前の溶体化処理温度の上昇によって析出は遅れ, その効果は  $\delta$  単相となる温度域 ( $\geq 1300^\circ\text{C}$ ) への加熱や特に熔融状態を経ることにより顕著となる。これらの結果は  $\sigma$  相の主な生成場所である  $\delta$ -フェライト中の析出サイト数の増加と Cr や Mo などの  $\sigma$  生成元素濃度の低下によって説明できる。Cr や Mo の増量は  $\delta$  中の  $\sigma$  生成元素の濃度と量を増すので  $\sigma$  相の析出速度とその飽和量を増加させる。Ni の増量も時効前の  $\gamma$  量を増して  $\delta$  中への  $\sigma$  生成元素を濃縮する間接的な作用により析出速度を上昇させる。

$\sigma$  相の析出によって約  $400^\circ\text{C}$  以下での延性が著しく低下し, 強度が上昇する。延性の低下は  $\sigma$  粒内に生ずる劈開破壊されつが  $\gamma$  のせん断破壊によって最終破断に到る結果であり, 約  $800^\circ\text{C}$  以上では破壊は  $\sigma/\gamma$  界面の剥離によって生じたポイドが連結して起こり, 高延性を示す。このように延性の温度変化には低延性-高延性の遷移現象が存在し, 遷移温度は  $\gamma$  と  $\sigma/\gamma^*$  のセル組織ではなく  $\delta$  単相域加熱後の時効によって  $\sigma/\gamma^*$  の微細組織とすることによって著しく下がり, 高温域では超塑性伸びも観察された。

#### 論文の審査結果の要旨

フェライト ( $\delta$ )/オーステナイト ( $\gamma$ ) 2相ステンレス鋼は耐食性, 強度などの性質が優れ, 利用価値の高い材料であるが, シグマ ( $\sigma$ ) 相の析出によって脆化し易く, その学理の解明と対策が待たれていた。本研究は 25% Cr-7% Ni-3% Mo を基本成分とする 2相ステンレス鋼中の  $\sigma$  相の析出挙動を, 加工, 熱履歴, 合金元素の影響及び破壊挙動までも含めて, 系統的に, 顕微鏡, X線・電子線回折, 電子顕微鏡, 分析顕微鏡などを駆使して調べたものである。この研究により, 等温及び連続冷却析出曲線が求められ, 析出速度の全貌が初めて明らかにされたので, 製造工程での  $\sigma$  相対策の重要な指針が得られたが, 同時に,  $\delta + \gamma$  の状態から結晶粒界での  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  中間化合物と新しい  $\gamma^*$  相との共析,  $\delta$  相中に張り出した共析組織の  $\delta/\gamma^*$  界面での  $\sigma$  相の発生と言う複雑な析出過程とその間の結晶方位関係 (特に Nenno の関係), 各種元素の移動出入などが解明されたのは学理上貴重な成果である。また加工, 熱履歴及び Cr, Mo, Ni の増減による析出速度の消長とその原因も明らかにされた。更に  $\sigma$  相析出による  $400^\circ\text{C}$  以下での延性の低下, 強度の変化も定量的に調べられ, 劈開破壊の挙動,  $800^\circ\text{C}$  以上での高延性破壊への遷移も見出され,  $\sigma$  相析出脆化に対する改良策のみならず, 高温での  $\sigma$  相の介在による超塑性特性の積極的利用法まで示唆された。以上の研究成果は基礎的にも応用的にも優れたものであり, 博士論文として価値あるものと認められる。