



Title	高強度高耐食13%Cr油井用鋼管の金属学のおよび腐食学的研究
Author(s)	原, 卓也
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42895">https://hdl.handle.net/11094/42895</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。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	はら たく や 原 卓 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 7 8 5 号
学位授与年月日	平成 12 年 11 月 27 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	高強度高耐食 13%Cr 油井用鋼管の金属学および腐食学的研究
論文審査委員	(主査) 教授 柴田 俊夫  (副査) 教授 馬場 佑吉 教授 山本 雅彦

#### 論 文 内 容 の 要 旨

高深度、高温湿潤炭酸ガス (CO<sub>2</sub>) 環境中での石油・ガスの採掘、生産に使用される油井管として 13%Cr 鋼が近年多く使用されている。しかしながら、この鋼の硫化物応力割れ (SSC) 感受性は高いため、通常の湿潤硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 環境下ではほとんど使用されない。そこで、高強度でかつ、耐 CO<sub>2</sub> 腐食性、耐 SSC 性に優れた 13%Cr 鋼の開発が要望されている。本論文は 13%Cr 鋼の熱間加工後の変態挙動、CO<sub>2</sub> 腐食、SSC 挙動ならびに異種金属接触腐食挙動について金属材料学的さらに腐食学的観点から調査し、これに基づき高強度高耐食 13%Cr 油井管を実際に開発したものであって、全 10 章より成り立っている。

第 1 章では、13%Cr 鋼の熱間加工後の変態挙動、CO<sub>2</sub> 腐食、SSC ならびに異種金属接触腐食挙動に関して従来の諸研究をまとめ、本論文の研究の目的を述べている。

第 2 章では、Ni と Cu を添加した低 C-13%Cr 鋼の変態挙動とその微細組織を調査し、それぞれの添加で熱間加工性が大きく異なることを明らかにしている。

第 3 章では、13%Cr 鋼の CO<sub>2</sub> 腐食に及ぼす金属組織の影響について調査し、腐食速度は組織によって異なり、様々な組織が混在した 13%Cr 鋼の腐食速度はそれぞれの組織の腐食速度と組織分率の和で表されることを明らかにしている。

第 4 章では、CO<sub>2</sub> 腐食に及ぼす合金元素の影響について検討し、Ni と Cu の複合添加は CO<sub>2</sub> 腐食を著しく抑制することが明らかにしている。Ni と Cu の複合添加によって腐食皮膜と鋼の界面に Cu 相が濃化し、その結果、腐食皮膜が非晶質となり、結晶質が抑制されることが耐食性向上の原因であることを示している。

第 5 章では、13%Cr 鋼の CO<sub>2</sub> 腐食速度に及ぼす流速の影響について調査し、限界流速以下では腐食皮膜が安定であるために腐食速度は流速に依存しないのに対して、限界流速以上ではエロージョン・コロージョンが発生することを明らかにしている。

第 6 章では、硫化物応力腐食割れ (SSC) に及ぼす組織の影響について調査し、 $\delta$  フェライトが生成すると SSC が発生すること、また SSC の発生は  $\delta$  フェライトの形態によらないことを明らかにしている。

第 7 章では、pH と硫化水素分圧を変えた様々な湿潤 H<sub>2</sub>S 環境中での 13%Cr 鋼の割れ発生について、pH と不動態化 pH、孔食電位と S の酸化還元電位、および割れ限界水素量と鋼中水素量との相対比によって、発生条件が決定されることを明らかにしている。

第8章では、異種金属接触腐食に及ぼす流速、面積比、距離、機械的疵の影響について調査し、油井・ガス井環境中での異種金属接触腐食はそれほど顕著でないことをそれぞれの因子ごとにまとめている。

第9章では、上記研究結果に基づきシームレス鋼管で製造される高強度高耐食13%Cr油井用鋼管の開発に適用し、湿潤CO<sub>2</sub>環境中200℃まで、硫化水素分圧が0.01MPaまで使用可能な鋼の開発に成功している。両者とも基礎研究で予測された特性を示しており、本研究成果が検証されている。

第10章は総括である。

## 論文審査の結果の要旨

重要なエネルギー源である石油や天然ガスは、地下の油層やガス層から、油井、ガス井を通じて採掘される。この油井やガス井を構成する重要部品が油井用鋼管である。油井環境中には、水分および塩化ナトリウム、炭酸ガス、硫化水素が含まれ、また高圧、高温度のため、油井用鋼管は極めて厳しい腐食環境にさらされている。さらに近年油井の高深度化や採掘条件の劣悪化が進み、このような厳しい条件においても十分な強度と耐食性を有する油井用鋼管の開発が強く望まれている。本研究は高強度かつ高耐食性の油井用13%Cr鋼管を開発することを目的として行われたものであり、主な成果は以下のとおりである。

- 1) 低C-13%Cr鋼にNiおよびCuを添加した場合の変態挙動とその微細組織および熱間加工性を検討し、Niによるオーステナイト安定化と室温でのマルテンサイト安定化、およびCuによるフェライト変態促進効果を明らかにしている。
- 2) 13%Cr鋼のCO<sub>2</sub>腐食速度の金属組織依存性を検討し、各組織の腐食速度は、焼き戻しマルテンサイト、フェライト、マルテンサイトの順に小さくなり、様々な組織が混在した13%Cr鋼の腐食速度はそれぞれの組織の腐食速度と組織分率の和で表されることを明らかにしている。
- 3) CO<sub>2</sub>腐食に及ぼす合金元素の影響について検討し、NiとCuの複合添加がCO<sub>2</sub>腐食を著しく抑制し、これは腐食皮膜と鋼の界面にCu相が濃化し、腐食皮膜の非晶質化を促進することによって耐食性を向上させることを明らかにしている。
- 4) 13%Cr鋼のCO<sub>2</sub>腐食速度は、限界流速以下では腐食皮膜が安定であるために腐食速度は流速に依存しないのに対して、限界流速以上ではエロージョン・コロージョンが発生することを明らかにしている。
- 5) SSCの発生は $\delta$ フェライトの生成によって生じるが、 $\delta$ フェライトの形態によらないことを明らかにしている。またpHと硫化水素分圧を変えた様々な湿潤H<sub>2</sub>S環境中での13%Cr鋼の割れ発生について、pHと不動態化pH、孔食電位とSの酸化還元電位、および割れ限界水素量と鋼中水素量との相対比によって、発生条件が決定されることを明らかにしている。
- 6) 流速、面積比、距離、機械的疵などの要因は異種金属接触腐食を加速しないことを示している。
- 7) 上記研究結果に基づき、シームレス鋼管として製造される高強度高耐食13%Cr油井用鋼管の開発に成功し、すでに1998年までに6500トンの製造実績を有している。

以上のように、本論文は、13%Cr鋼について、NiおよびCu添加の効果を金属組織、強度、腐食挙動について基礎的に検討し、油井用鋼管として優れた、高強度、高耐食性を有する材料の開発に成功したものであって、金属材料工学および環境材料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。