

Title	SiおよびCu添加熱延鋼板におけるスケール疵発生機構
Author(s)	深川, 智機
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3161879">https://doi.org/10.11501/3161879</a>
DOI	10.11501/3161879
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	深川智機
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	第 14907 号
学位授与年月日	平成 11 年 7 月 26 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	Si および Cu 添加熱延鋼板におけるスケール疵発生機構
論文審査委員	(主査) 教授 柴田 俊夫 (副査) 教授 永井 宏 教授 原 茂太 教授 中嶋 英雄 助教授 谷口 滋次

## 論文内容の要旨

本論文は、Si 添加鋼板の高圧水によるデスケーリング性および Cu 添加鋼板の熱間脆化に及ぼすスケール/鋼界面近傍における元素分布および形態からスケール疵発生機構を明らかにし、デスケーリング不良対策および Cu 脆化防止法をまとめたものであり、全 7 章から構成されている。

第 1 章の序論においては Si および Cu 添加鋼の高温酸化および鋼板の高圧水デスケーリングに関して従来の諸研究をまとめ、本論文の研究の意義について述べている。

第 2 章では、Si 添加鋼板製造上の問題点である赤スケール疵を実験室的に再現し、その生成機構を調査している。赤スケールは FeO のデスケーリング不良によって発生する。Si 鋼におけるデスケーリング不良の原因は加熱炉中において、FeO/Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 共晶化合物がスケール/鋼界面で鋼と FeO の両側に複雑に入り組んだ形で生成するため、共晶化合物が一旦凝固すると、機械的強度が高いのでデスケーリングし難いことを明らかにしている。

第 3 章では、デスケーリング性に及ぼす Ni の影響について検討している。0.0034 wt% 程度の Ni 量では 1.5 wt% Si でも共晶化合物/鋼界面は滑らかで赤スケールが発生しないが、量産鋼に含まれる 0.020 wt% 程度の Ni 量になると 0.5 wt% Si でもスケール/鋼界面の凹凸が顕著になり、デスケーリング性が劣化することを明らかにしている。界面凹凸化の原因は、Ni が外部酸化物/鋼界面だけでなく、内部酸化物周囲にも濃化するため、その後の不均一酸化の原因となるためであることを示している。また、鋼中 Si および Mn 量の増加は内部酸化物の成長を通じて界面の凹凸化を促進することも明らかにしている。

第 4 章および第 5 章では、鋼中の S および P の増加に伴い、デスケーリング性が改善されることを明らかにしている。その原因が、いずれも FeO/Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 共晶化合物よりも低融点の化合物が生成し、スケール/鋼界面が熔融状態でデスケーリングされるためであることを示している。S を添加すると、FeO/FeS 共晶化合物が生成することを明らかにしている。スケール/鋼界面に MnS でなく FeS が生成する挙動を MALT2 によって計算した化学平衡図を用いて議論している。一方、P 添加と共に FeO/Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 共晶点の低下することを、試薬から合成した Fe-Si-P-O スケールの熱分析により確認している。

第6章では、Cu含有鋼のスケール/鋼界面の形態変化と高温引張後の割れに及ぼすNi添加量と酸化温度の影響を明らかにしている。0.5 wt% Cu鋼に対し、0.001 wt% Niでは、1100°Cから1300°Cまでの高温酸化後、いずれの温度においても界面に溶融Cuが濃化し、1100°Cで引張試験を行うと溶融金属脆化が発生するが、Niを0.02 wt%添加すると、1200~1300°Cの高酸化温度側で延性が回復することを明らかにしている。

第7章は結論で、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

自動車車体の軽量化のために高強度と成型性の両者を満足する鋼板の開発が必要とされているが、強度-延性バランスに優れたSi添加高張力鋼板はその候補材料のひとつである。しかしながら本材料は熱延工程における高圧水によるデスケーリング中にスケール疵が発生し、外観が損なわれる場合がある。また、鉄鋼材料のリサイクル率の増大ともなっており、スクラップ中へのCuの混入が生じてくると予想されるが、混入したCuは連続鋳造および熱間圧延において表面割れを生じさせることが知られている。以上の背景のもとに本論文は、SiおよびCu添加熱延鋼板におけるスケール疵発生機構を明らかにし、デスケーリング不良対策およびCu脆化防止法をまとめたものであって、おもな成果は次のとおりである。

- 1) Si添加鋼板製造上の問題点である赤スケール疵を実験室的に再現する手法を確立し、その生成機構を明らかにしている。赤スケールはFeOのデスケーリング不良で発生するが、Si鋼におけるデスケーリング不良は加熱炉中において、FeO/Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>共晶化合物がスケール/鋼界面で鋼とFeOの両側に複雑に入り組んだ形で生成することが原因であることを明らかにしている。さらにデスケーリング性に及ぼすNiの影響について調査し、0.0034 wt%程度のNi量では1.5 wt% Siでも共晶化合物/鋼界面は滑らかで赤スケールが発生しないが、量産鋼に含まれる0.020 wt%程度のNi量になると0.5 wt% Siでもスケール/鋼界面の凹凸が顕著になり、デスケーリング性が劣化することを見出している。界面凹凸化の原因は、Niが外部酸化物/鋼界面だけでなく、内部酸化物周囲にも濃化するため、その後の不均一酸化の原因となることを示している。また、鋼中Si、Mn量の増加は内部酸化物の成長を通じて界面の凹凸化を促進することも明らかにしている。さらに鋼中のS、Pの増加に伴い、デスケーリング性が改善されることを明らかにし、これらの元素はいずれもFeO/Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>共晶化合物よりも低融点の化合物を生成し、スケール/鋼界面が溶融状態でデスケーリングされるためであることを示している。低融点共晶化合物の生成の熱力学的条件を明らかにするとともに、試薬から合成したFe-Si-P-Oスケールの熱分析によりその生成を確認している。
- 2) Cu含有鋼のスケール/鋼界面の形態変化と高温引張後の割れに及ぼすNi添加量と酸化温度の影響を検討し、0.5 wt% Cu鋼に対し、0.001 wt% Niでは、1100°Cから1300°Cまでの高温酸化後、いずれの温度においても界面に溶融Cuが濃化し、溶融金属脆化が生じるが、Niを0.02 wt%添加すると、高酸化温度側で延性が回復することを明らかにしている。この脆化現象はスケール/鋼界面の凹凸が激しくなるとともに、スケール中にCuとNiが濃化して取込まれ、スケール/鋼界面近傍のCuの濃化度が低下するために生じることを明らかにしている。

以上のように、本論文は自動車車体軽量化のためのSi添加鋼板におけるデスケーリング性およびスクラップ随伴Cuによる鋼板の熱間脆化におけるスケール疵発生機構を明らかにし、デスケーリング不良対策およびCu脆化防止法をまとめたものであり、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。