



Title	鉄鋼材料製造過程に生成するスケールの性状と高温物性に関する研究
Author(s)	武田, 実佳子
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/591">https://hdl.handle.net/11094/591</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	武 田 実 佳 子
博士の専攻分野の名称	博 士（工 学）
学 位 記 番 号	第 2 3 8 1 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 22 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	鉄鋼材料製造過程に生成するスケールの性状と高温物性に関する研究
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 藤本 慎司  （副査） 教 授 田中 敏宏 教 授 荒木 秀樹

## 論 文 内 容 の 要 旨

鉄鋼材料の製造過程において発生するスケールの除去が不十分であると、残存スケールが鋼材表面に押し込まれて表面疵が発生し、鋼材の表面性状を悪化させる。また、強度向上のために添加するSiやCrが脱スケール性を非常に困難にすることから、剥離性の良いスケール性状の解明と残存スケールの制御技術の開発が望まれている。本研究においては、鉄鋼製品の表面特性に及ぼす熱間圧延工程における高温酸化挙動、スケール性状とその高温物性の関係について、特にSi、Crの影響に着目して考察し、剥離性の良いスケール性状およびそれを得る加熱条件、またスケールの高温物性をもとにスケールが最終製品の表面特性に及ぼす影響を明らかにした。

第1章では、「本研究の目的」ならびに「高温酸化機構とスケール構造」、「スケール性状と脱スケール特性」、「スケールの機械的性質」、に関する従来の研究について述べた。  
第2章では、加熱炉で発生するSi含有鋼の1次スケールの剥離性改善を目的として、スケールの高温密着性を高温圧縮試験により評価し、1次スケールの微細構造、高温密着性に及ぼすSi濃度、加熱温度の影響を調べた。 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の融点以下である1100℃の加熱では、Si量の増加に伴って $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ が増加するため、内層スケールは $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ と $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の混在層となって緻密化し、スケールの密着性が増加（剥離性が悪化）することがわかった。 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の融点以上となる1200℃の加熱では、Si量の増加に伴って液相化した $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ 量が増大し、下地鋼からFeOへの $\text{Fe}^{2+}$ イオンの拡散経路が増えた結果、FeOの成長が促進され、密着性が低下することがわかった。  
第3章においては、Si含有鋼の熱間圧延時における大気中の2次スケールの成長について、放射光を用いたin-situ透過モードXRDによりスケール生成の初期過程を観察し、鋼材中のSiが2次スケールの成長挙動とその組成に及ぼす影響を調べた。その結果、大気中昇温過程（～900℃）における極短時間でのスケールの成長挙動にはSi量が大きく影響し、ファイアライト（ $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ）、ウスタイト（FeO）の生成有無・生成温度に敏感であることがわかった。

第4章においては、Si含有鋼上に熱間圧延中に生成する2次スケールの剥離、破壊、変形が最終製品の表面性状に及ぼす影響を検討するため、Si含有鋼のスケールを構成する主な酸化物であるFeO、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の各酸化物単体試料を焼結法により作製して「硬度」「ヤング率」「熱膨張係数」「熱伝導率」の高温物性測定を試み、最終の表面性状に及ぼす $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の影響について検討を行った。その結果、高Si鋼の熱間圧延においては、下地鋼との密着性の高い $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ が原因で発生する $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の破壊と変形の挙動が、赤スケールの生成など鋼材の表面性状に大きく影響することがわかった。

第5章においては、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の生成機構解明の一環として、Siの内部酸化挙動について、内部酸化速度定数の算出を試み、内部酸化の進入深さの予測と実証を行った。Si量が1%を超える高Si鋼においては、内部酸化が発生しないことが明らかとなった。

第6章においては、加熱炉で発生するCr含有鋼の1次スケールの剥離性改善を目的として、1次スケールの微細構造、高温密着性に及ぼすCr濃度、加熱温度の影響を調べた。その結果、Cr含有鋼においては $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ と $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ から構成される緻密で下地鋼との密着性の高い内層スケールが生成するが、高温で酸化すると内層スケールの下層にポーラスで脆いFeO層が生成するために、スケール密着性が低下（剥離性が向上）することがわかった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、鉄鋼製品の熱間圧延工程における高温酸化挙動と、酸化により生成するスケールの性状との関係を、特にSi、Crの影響に着目して検討し、剥離性の良いスケールおよびそれを得る加熱条件、さらにはスケールが最終製品の表面特性に及ぼす影響を明らかにしている。

本論文で得られた成果の要約は以下のとおりである。

(1) 加熱炉でSi含有鋼に発生する1次スケールの剥離性改善を目的として、スケールの高温密着性を高温圧縮試験により評価し、1次スケールの微細構造、高温密着性に及ぼすSi濃度、加熱温度の影響を調べている。 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の融点以下であり1100℃の加熱では、Si量の増加に伴って $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ が増加するため、内層スケールは $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ と $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の混在層となって緻密化し、スケールの密着性が増加（剥離性が悪化）する。 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の融点以上となる1200℃の加熱では、Si量の増加に伴って液相化した $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ 量が増大し、下地鋼からFeOへの $\text{Fe}^{2+}$ イオンの拡散経路が増えた結果、FeOの成長が促進され、密着性が低下することを明らかにしている。

(2) Si含有鋼の熱間圧延時における大気中2次スケールの成長について、放射光を用いたin-situ透過モードXRDによりスケール生成の初期過程を観察し、鋼材中のSiが2次スケールの成長挙動とその組成に及ぼす影響を検討している。大気中昇温過程（～900℃）における極短時間でのスケールの成長挙動にはSi量が大きく影響し、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ 、FeOの生成有無・生成温度に敏感であることを明らかにしている。

(3) Si含有鋼上に熱間圧延中に生成する2次スケールの剥離、破壊、変形が最終製品の表面性状に及ぼす影響を検討するため、Si含有鋼のスケールを構成する主な酸化物であるFeO、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の各酸化物単体試料を焼結法により作製して硬度、ヤング率、熱膨張係数、熱伝導率の高温物性測定を試み、最終の表面性状に及ぼす $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の影響について検討を行っている。高Si鋼の熱間圧延においては、下地鋼と $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ との高い密着性が原因で発生する $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の破壊と変形の挙動が、赤色スケールの生成など、鋼材の表面性状に大きく影響することを明らかにしている。

(4)  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ の生成機構解明の一環として、Siの内部酸化挙動について内部酸化速度定数の算出を試み、内部酸化侵入深さの予測と実証を行っている。Si量が1%を超える高Si鋼においては内部酸化が発生しないことを明らかにしている。

(5) 加熱炉で発生するCr含有鋼の1次スケールの剥離性改善を目的として、1次スケールの微細構造、高温密着性に及ぼすCr濃度、加熱温度の影響を検討している。Cr含有鋼においては $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ と $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ から構成される緻密で下地鋼との密着性の高い内層スケールが生成するが、高温で酸化すると内層スケールの下層にポーラスで脆いFeO層が生成するために、スケール密着性が低下（剥離性が向上）することを明らかにしている。

以上のように、本論文は鉄鋼材料の熱間圧延工程における高温酸化スケールの生成挙動と高温物性さらにその剥離特性との相関を明らかにしている。この成果は、熱間圧延における表面品質低下の防止対策への指針を与えており、鉄鋼製品の品質向上に広く貢献するとともに、材料工学の基礎と応用への寄与が認められる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。