



Title	鋼板の熱間圧延における表面酸化皮膜の変形と圧延特性に及ぼす影響
Author(s)	原, 健一郎
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/26254">https://hdl.handle.net/11094/26254</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">大阪大学の博士論文について</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

## 論文内容の要旨

〔題 名〕

鋼板の熱間圧延における表面酸化皮膜の変形と圧延特性に及ぼす影響

学位申請者 原 健一郎

熱間加工プロセスにおいて、被加工材表面には酸化皮膜（スケール）が生成する。スケールは歩留まりを低下させ、表面欠陥を誘発する。加えて、ロールなどの工具と材料の間に位置し、摩擦や熱移動にも大きな影響を与える。しかしながら、加工中のスケール挙動に注目した研究は少ない。本論文は熱間圧延を対象とし、鋼板の熱間圧延におけるスケールの変形挙動と圧延特性に及ぼす影響について考察したものである。本論文は10章からなる。各章ごとに得られた結果を以下に示す。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、熱間圧延直後の鋼板表面に酸化ガラス粉末を振りかけて、スケールを熱間圧延直後の状態で封止観察する新たな実験手法について述べた。

第3章では、低炭素鋼板の1パス圧延時のスケールの変形を解明するとともに、圧延特性におよぼす影響を調査した。スケールの変形はスケール厚さ、加工温度、圧下率に依存した。1173K～1373Kでスケールが薄い場合、いずれの圧延温度においてもスケールは地鉄とともに均一に変形した。スケールが厚い場合、高圧下率では分断した。スケールが均一変形する場合、圧延特性に及ぼす影響は認められず固着摩擦を仮定することができた。スケールが分断される場合、鋼板内部の摩擦せん断変形はやや減少し、圧延荷重はやや低減した。したがってスケールの分断は見かけ上、摩擦係数の低下として圧延特性に現れることが明らかとなった。

第4章では、低炭素鋼の厚板を用いて多パス圧延を行い、パス毎のスケール変形の推移を調査するとともに、スケールの潤滑効果の継続性について調査した。スケールが一度分断されると、後続のパスでは厚さは変化せず、地鉄の露出面積率の増加に転化することが分かった。第3章で見られたスケールの潤滑効果は多パスでの圧延でも確認された。

第5章ではAr-O<sub>2</sub>混合ガスボンベを用いて、低炭素鋼板の加熱雰囲気中の酸素濃度がスケールの形態に与える影響を調査した。酸素濃度は生成するスケールの表面凹凸に影響した。低酸素濃度で形成された表面凹凸はスケール厚さの増加とともに、界面反応律速から拡散律速に移行するため平滑化すると考察された。また、表面凹凸は圧延時のスケール割れ発生を誘発することを示した。

第6章では、比較材として無酸素鋼板の熱間圧延を行い、スケールの変形挙動を調査した。無酸素鋼上のスケールの挙動は、下地金属からはく離してロールに移着する場合と、鋼板表面に残存する場合に大別された。スケールは増摩効果を有することが確認されたが、ロール抜熱を防ぐ保温効果の影響と複合されることで、圧延荷重への影響は顕著には現れなかった。

第7章では、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）板の熱間圧延を行い、スケールの変形挙動とロールへの移着の影響を調査した。スケールが薄い場合、圧下率30%以上では、スケールのクラックから最表面に露出した地鉄がロールに焼付くことで、荷重が増加した。スケールが厚い場合、圧下率によらずスケール自体がロールに焼付くため、高い荷重を示すことが明らかとなった。

第8章では、ケイ素含有鋼板を用いて、スケール内に生成する液相の影響を調査した。ケイ素含有鋼板の圧延特性はウスタイト（FeO）とファイアライト（Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>）の共晶反応の影響を強く受けた。共晶温度以下である1373Kではボーラス状のスケール層が地鉄の直上に生成し、摩擦はスケールの厚みとともに増加した。共晶温度以上である1473Kでは液相のスケール層が地鉄の直上に生成するため、低摩擦となることが明らかとなった。

第9章では、スケールの圧延における変形と熱移動、摩擦への影響について考察した。熱間圧延中のスケールの変形は、スケール自身の延性や地鉄との強度比に応じて次のような形態を示した。（1）スケールの延性が低

い場合は、圧延で破砕され地鉄に埋め込まれる。(2) ある程度の延性がある場合は、周期的に分断され、くさび形に変形する。(3) 延性が十分にある場合は、地鉄とともに均一に変形する。圧延後の板の表面温度はスケールの分断や地鉄の露出などの変形形態によらず、スケールの厚さのみで整理できた。一方、摩擦に与える影響はスケール厚さでは単純に整理できず、スケールの分断によって発生する地鉄とスケールとの間の相対すべりや、地鉄の露出の影響を大きく受け、次のように分類された。(1) スケールが地鉄とともに均一に変形する場合は、摩擦への影響は少ない。(2) 破砕されたスケールが地鉄に押し込まれる場合や、露出した地鉄がロールに焼付く場合は、摩擦を増加させる。(3) ある程度の延性がありロールバイト内で不均一変形を生じながら圧延される場合のみにおいて、スケールと地鉄の界面に相対すべりが導入されるため、摩擦が減少する。

第10章では、本研究の成果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 原 健一郎 )			
論文審査担当者		(職)	氏 名
	主 査	教授	宇都宮 裕
	副 査	教授	田中 敏宏
	副 査	教授	藤本 慎司
	副 査	講師	松本 良

## 論文審査の結果の要旨

熱間加工プロセスにおいて、被加工材表面には高温酸化により酸化皮膜（スケール）が生成する。スケールは歩留まりを低下させ、表面欠陥を誘発する。加えて、ロールなどの工具と材料の間に位置し、摩擦や熱移動にも大きな影響を与える。しかしながら加工中のスケール挙動に注目した研究はほとんどなされていない。本論文はガラス封止法を新たに開発して、鋼板の熱間圧延におけるスケールの変形挙動を解明するとともに、圧延特性に及ぼす影響を調査し考察したものである。本論文は以下の全10章より構成されている。

第1章は序論であり、熱間加工時のスケールに関する従来の研究を概観し、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、熱間圧延直後の鋼板表面に酸化皮膜粉末を散布して二次酸化を防止し、スケールを熱間圧延直後の状態で封止した後に断面を切断して観察する新たな実験手法を提案している。

第3章では、低炭素鋼板の1パス熱間圧延時のスケールの変形を解明し、スケールの変形がスケールの厚さ、温度、圧下率に依存することを明らかにしている。スケール厚さが10  $\mu\text{m}$  以下と薄い場合、スケールはおおむね均一変形し圧延特性に及ぼす影響は認められないのに対し、スケール厚さが30  $\mu\text{m}$  以上と厚い場合にはスケールは圧延中に分断され圧延荷重とせん断変形の減少、すなわち潤滑効果として圧延特性に現れることを明らかにしている。

第4章では、低炭素鋼の厚板を用いて多パス圧延時のスケールの挙動を調査している。スケールが一度分断されると後続のパスでもその厚さは変化せず、延伸は地鉄の露出面積率の増加に転化することを見出している。また、多パス圧延の場合もスケールに潤滑効果があることを確認している。

第5章では、 $\text{Ar-O}_2$  混合ガスを用いて、低炭素鋼板の酸化中の酸素濃度がスケールの形態に与える影響を調査している。酸素濃度10%以下ではスケール最表面に凹凸が顕著に形成されるが、スケール厚さの増加とともに酸化反応が表面反応律速から拡散律速に移行するため、凹凸は平滑化すると考察している。また、表面凹凸は圧延時のスケール割れ発生を誘発することも明らかにしている。

第6章では、比較材として無酸素銅板の熱間圧延を行って、スケールの変形挙動を調査している。スケールは下地金属からはく離してロールに移着する場合と、銅板表面に残存する場合があることを見出している。また、無酸素銅のスケールは増摩効果を有することと、ロールによる抜熱を防ぐ保温効果が顕著であることを解明している。

第7章では、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）板の熱間圧延を行って、スケール厚さ3  $\mu\text{m}$  と薄い場合、圧下率30%以上でスケールの亀裂から最表面に露出した地鉄がロールに焼付くことで荷重が増加すること、スケール厚さ7  $\mu\text{m}$  と相対的に厚い場合、圧下率によらずスケール自体がロールに焼付き、高荷重を示すことを明らかにしている。

第8章では、ケイ素含有鋼板を用いて、スケール内に生成する液相の影響を調査している。ウスタイト（ $\text{FeO}$ ）とファイアライト（ $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ）の共晶温度以上である1473 Kでは、地鉄と外層スケールの間に液相が生成するため、圧延時に低摩擦となることを明らかにしている。

第9章では、前章までに得られた結果に基づき熱間圧延におけるスケールの変形と熱移動、摩擦への影響について考察している。第3章で見られた熱間圧延におけるスケールの塑性変形挙動の初期厚さ依存性は、ロール抜熱によりスケール表層温度が低下し脆性となることが主因と考察している。一方、スケールが摩擦に与える影響はスケール厚さのみでは単純に整理できないことを指摘し、次のように分類している（1）スケールの延性が高く地鉄とともに均一に変形する場合は摩擦への影響は小さい。（2）スケールの延性が低く破砕されて地鉄に押し込まれる場合、あるいはスケールの亀裂から地鉄が露出しロールに焼付く場合は摩擦を増加させる。（3）スケールにある程度の延性がありロールバイト内で不均一変形を呈する場合は、スケールと地鉄の界面に相対すべりが導入されて、せん断変形が減少するため摩擦が減少する。

第10章では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文はガラス封止法を開発して、鋼板の熱間圧延におけるスケールの変形を調査するとともに、圧延特性への影響を解明したものである。従来不明であった熱間圧延中のスケール変形を複数の金属材料について詳細に解明して、その機構を考察した点で、学術的に重要な知見を含んでいる。得られた知見に基づいて、工業的なプロセスにおける加熱、デスケール、熱間圧延条件を最適化することで、熱間圧延材に発生する表面疵や形状不良を低減し、歩留まりの向上が期待できる。本研究は工業的な応用範囲が広く、材料工学の発展に寄与するところが大い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。