



特集記事・7

鉄の環境との共生

製造ロス低減にむけた鋼製造の現状と今後の展望

Current State of Steelmaking Process to Reduce the Product Loss

田中和明
Kazuaki Tanaka

新日本製鐵(株) 君津製鐵所
品質管理部 薄板一貫品質技術グループ
グループリーダー

1 はじめに

1.1 省エネルギーのための製造ロス低減

製鉄所は、図1に示すように、鉄源の鉄鉱石と最大のエネルギー源であり原料である石炭、電気、工業用水などのエネルギーをインプットし、鉄鋼製品をアウトプットするプロセスである¹⁾。製鉄所における省資源および省エネルギーは、インプットされた原料やエネルギーを効率的に利用することにより達成できる。

効率的に利用するためには3つの視点がある。①インプットされたエネルギーの利用効率を向上させる方法、②インプットされた資源の製鉄所内でのリサイクルを向上させる方法、および③製造歩留を向上させる方法である。特に、3つめの製造歩留を向上させる方法は、インプットされた鉄分を効率的にアウトプットすることにより、極めて有効な省資源、省エネルギーに結びつく。

本解説では、製造歩留を向上させるための製鉄所における製造ロス低減活動を、薄板製品製造時のスケールによる表面疵²⁾を中心に紹介する。

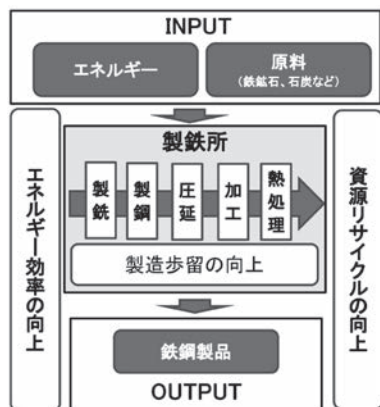


図1 鉄鋼一貫製鉄所の省エネルギー・省資源活動

2 製造プロセス

2.1 薄板製造工程

薄板製品は、図2に示すように、製鉄・製鋼・熱延・冷延・めっきという5つの大きな工程を経て製品になる³⁾。高炉で溶かされた鉄は、製鋼工程の転炉で所定の化学成分、清浄性の鋼に精錬され、鋼片に連続铸造される。鋼片は熱延工程で加熱炉に装入され、決められた温度まで加熱される。その後、圧延工程で目的の形状になるまで連続熱間圧延され巻き取られて熱延コイルになる。このまま使用されるのが熱延鋼板である。熱延コイルは冷間圧延工程で、酸洗後、製品厚みまで冷延連続圧延されて冷延コイルになる。冷延コイルを焼鈍・調質して使用するコイルが、冷薄鋼板である。冷延コイルを焼鈍して亜鉛めっきと合金化処理を行ったコイルが合金化処理溶融亜鉛めっき鋼板である。薄板製品は、これらの全ての工程で、表面疵が入る可能性がある⁴⁾。

2.2 スケールから見た製鉄操業

鉄鋼一貫製鉄所における薄板製品を製造する典型的なプロセスと温度履歴の模式図を図3に示す²⁾。転炉から出鋼した溶鋼は、連続铸造されてスラブになる。スラブはマシンスクーフなどで表面を手入れされ、加熱炉に装入される。加熱炉で所定の温度に焼き上げられたスラブは、取り出された後に表面についたスケールをデスクーリング装置で除去され、粗圧延機、仕上圧延機により目的とする厚みに圧延され、冷却された後に巻き取り機で熱延コイルに巻き取られる。熱延コイルは酸洗装置で表面についたスケールを除去されて次の工程に送られる。

鋼材がスラブから熱延コイルに加工される一連のプロセスの中で、鋼材の表面温度は凝固温度から常温まで上下する。スラブの表面温度は、凝固温度近傍の1500℃から連続铸造機出側温度の700℃まで変化する。マシンスクーフでは、ス

ラブ表面を鋼の熔融温度まで上昇させて溶削除去する。スラブは室温近傍まで冷却されるか、製鋼から加熱炉までの滞留時間を短くして数百℃の温片で加熱炉に装入される。加熱炉では、スラブは1100～1300℃まで加熱される。圧延は1000℃前後で行われ、通常500～700℃でコイルが巻き取られた後、空冷もしくは水冷で冷却される。

スケールの厚みは、これらのプロセスの中で大きく変化する。高温のプロセスで鋼材表面でのスケールの成長が進み、デスケリングや酸洗でスケールが除去されるためである。鋳造直後から鋳造スケールの生成が始まる。50～200 μm まで成長した鋳造スケールは、スラブの表層に巻き込まれたパウダーやピンホールを除去できる深さ⁵⁾まで、地鉄ごとマシンカーフで除去される。加熱炉内では一次スケールの成長

が顕著である。加熱炉内は湿潤酸化雰囲気であり⁶⁾、スケールの成長は温度と在炉時間の関数に従う⁷⁾。一次スケールは1～3mmの厚みにまで成長する⁴⁾。加熱炉から取り出されたスラブは、デスケリングされる。厚い一次スケールを表面につけたままのスラブを圧延すると表面欠陥が発生するためである⁸⁾。鋼材表面のスケール厚みは、デスケリング後は1 μm 以下になる。粗圧延中はスケールの成長とデスケリング水によるスケール破壊と剥離の繰り返しである。仕上圧延中は二次スケールの生成とスケール変形を繰り返す。圧延が終了し冷却過程でもスケールは成長しており、冷却されたホットコイルでは3～10 μm 程度の厚みの二次スケールになっている。酸洗においては、二次スケールを溶解除去している⁹⁾。

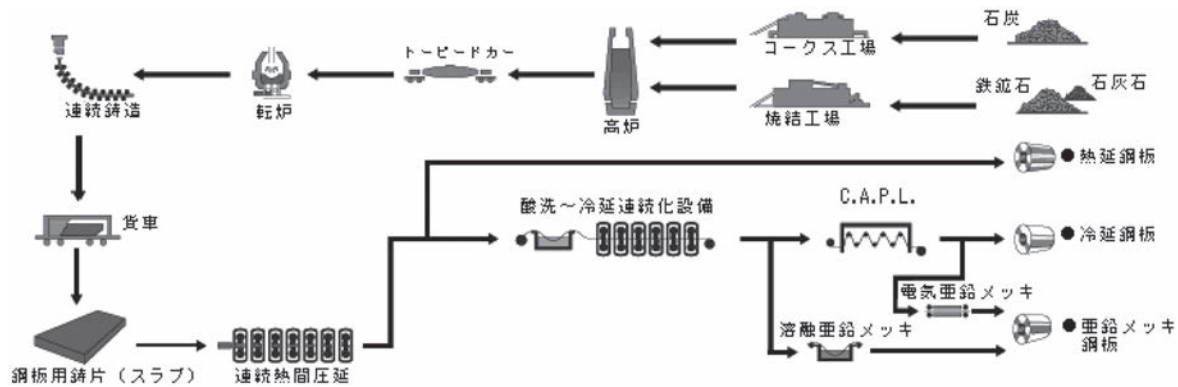


図2 鉄鋼一貫製鉄所の薄板製造工程

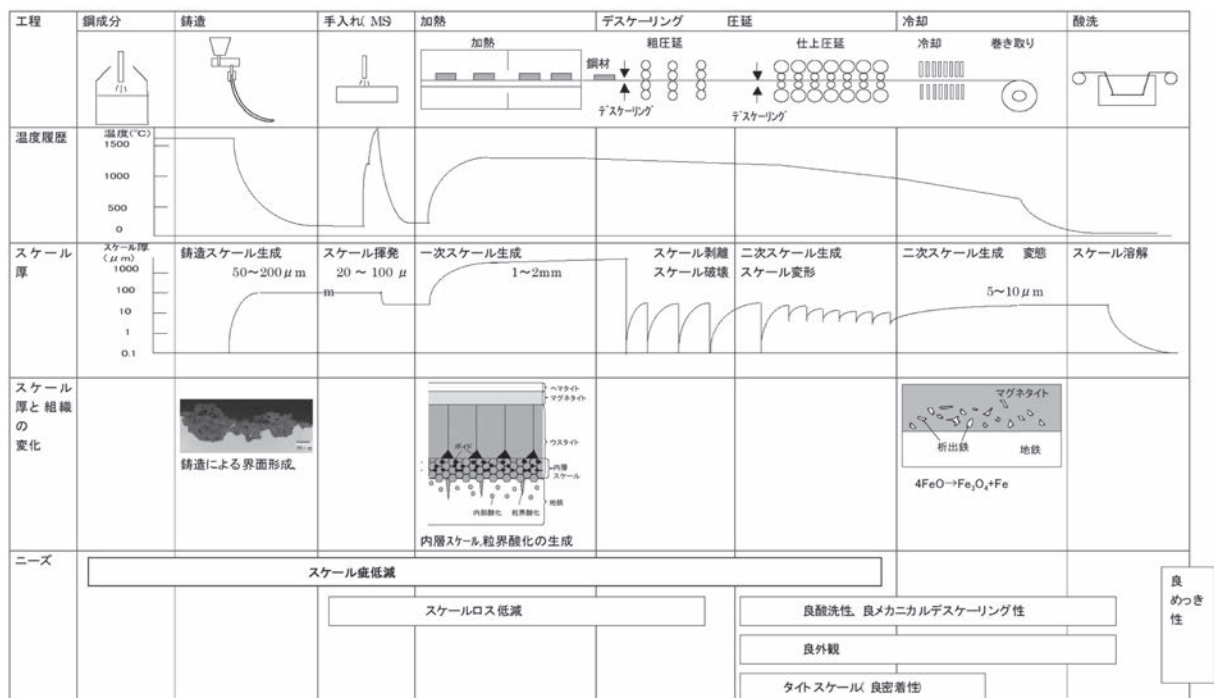


図3 スケール生成から見た製造工程と課題

2.3 歩留ロスを生み出すばらつき

製鉄所における薄板系鉄鋼製品の製造ロスは、図4に示すように、大きく分けてスケールロス、表面疵ロスおよびその他ロスの3つに分類できる。

スケールロスには、スカーフ手入れロス、加熱ロス、圧延中ロスおよび酸洗ロスなどがある。スケールロスは、鑄造から酸洗までの間に熱間スラブやコイルが生成した表面スケールであり、製品の作りこみで不可避免的に数%発生するロスである。スケールロスは、スカーフ手入れ代や加熱炉抽出温度、熱延の巻取り温度などの作り込み条件を与えると、一定量の酸化ロスが発生するが、ロス実績はほとんどばらつかない。

表面疵ロスは、歩留ロスのばらつきを生み出す要因である。表面疵の種類は、製鋼工程で入る冶金系欠陥、熱延工程で入る加熱・圧延起因の欠陥やスケールが生み出す欠陥²⁾に分けられる。表面疵ロスは、操業や設備の状態のばらつきが生み出すロスであり、製造ロスを生み出す大きな要素である。製鉄所での製造歩留を向上させるためには、表面疵ロスを削減する活動に取り組む必要がある。

3 製造ロス削減のサイクル

3.1 表面疵低減サイクル

製造ロスのなかで、スケールロスは不可避免的に発生している。製造ロスのばらつきを発生させるのは、表面疵ロスである。表面疵は、これまで熱延のスケールかみ込み疵やロール起因のスケール疵に関する研究などがなされており^{10,11)}、その表面疵の発生メカニズムだけではなく詳細な対策までも報告されてきている¹²⁾。こうしたスケール疵の研究や対策の提案や実行が報告されているにも関わらず、製造現場においては依然スケール起因の表面疵が発生し、製造ロスを生み出しているのも事実である²⁾。

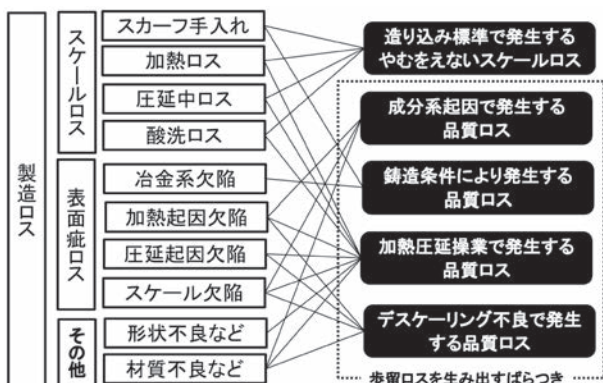


図4 製造ロスを生み出す主な原因

表面疵の低減サイクルは、図5に示すように、疵発生、疵の特定、疵の発生メカニズムの解明および疵対策の実行サイクルによって回っている。

表面疵が発生すると、表面疵の検出・調査を行う¹³⁾。次いで表面疵の種類を特定するために、疵の発生形態・発生条件の調査を行う。疵の発生メカニズムが解明されると、設備開発や操業技術が確立される。対策を実行すると、生産中の設備管理や操業管理、傾向管理が行われる。これらのサイクルを回しながら表面疵の低減を図っている。

製造歩留を向上させるためには、業務改善サイクルをいかに早く回すかが課題になる。以下に、表面疵低減サイクルを迅速に廻すために、表面疵の特定の迅速化する方法とスケール系欠陥の対策を実施する方法を解説する。

3.2 表面疵の特定の迅速化例

薄板製品で見つかる表面疵は、通常コイル圧延方向に伸びており、外観からその発生原因を特定するのは困難である。このため疵部のサンプルを採取して疵の断面形状を観察したり、疵部に存在する元素を分析したりして推定する。図6に、2000年にAISIのFeO系スリバーに関する検討小委員会で作成された表面疵の一方向決定樹を示す¹⁴⁾。表面疵の断面や表面を研磨し光学的な観察をした結果と、製鋼から熱延までの間のプロセスに発生原因があると考えられる表面疵決定方法を提示している。

表面疵は、パウダーやアルミナ系などの非金属介在物を含む欠陥とFeO系と呼ぶ表面スケールを伴う欠陥に分けられる。この決定樹を用いると、疵の外観や断面形態から疵の発生原因に遡ることができる。疵の形態から発生工程を推定できるため、表面疵の分類への迅速化だけではなく、表面疵対策の迅速化にも貢献する。

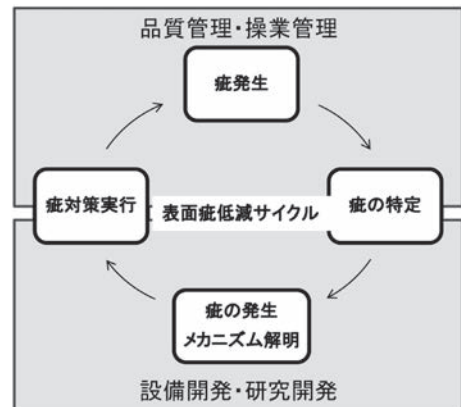


図5 表面疵低減サイクル

3.3 スケール欠陥発生パターン

熱延で発生する表面疵は、コイル内での発生パターンと発生形態で整理できる。コイル内での欠陥発生パターンは、表1に示すように、大きく分けて4つに分類できる²⁾。

Aは、コイルの先後端に発生するヘゲやマキズレのような熱延操業に起因するもの、Bは、コイルの両エッジ部近傍に発生し、トリムで除去できないもの、Cはコイルに数個程度発生する異物飛び込みや冶金系欠陥など、Dはコイル全面に発生するスケール起因やロール起因の疵である。なかでもDのスケール系欠陥は、コイル全体に大きな品質ダメージを与える。

3.4 スケール欠陥外観による発生原因の整理

熱延で発生するスケール系欠陥の原因は、表2に示すように、大きく分けて温度、ロール肌荒れ、デスケリングの不良、成分の不適切による異常スケールなどに分類できる²⁾。スケール疵は、図7に示すように、外観形状から、ウロコ、散砂、紡錘スケールなどと呼ばれる⁸⁾。

4 おわりに

省エネルギー、省資源に寄与できる製鉄所活動として、製造ロスの削減を取り上げた。なかでも熱間圧延時に発生するスケールによる表面疵ロスに焦点を当て、ロス低減活動を紹介してきた。

スケールによる表面疵ロスは、発生形態の特定や形態の分類だけでは低減が困難である。図8に示すように²⁾、製造工程での一次スケールおよび二次スケール生成機構の研究もまだまだ進化している。一次スケールでの粒内酸化やデスケリングでの剥離¹⁵⁾、二次スケールの不均一生成やスケール剥離、ロール転写および冷却化過程でのスケール剥離など、スケールの機械的性質の研究・メカニズム解明が表面疵低減に果たす役割も大きい。

こうした成果を踏まえ、表面疵低減サイクルを製鉄所で廻し続けることが、製造ロスを低減することにつながる。

今後も、産学協同しながら、スケール起因表面疵の低減活動を継続していきたい。

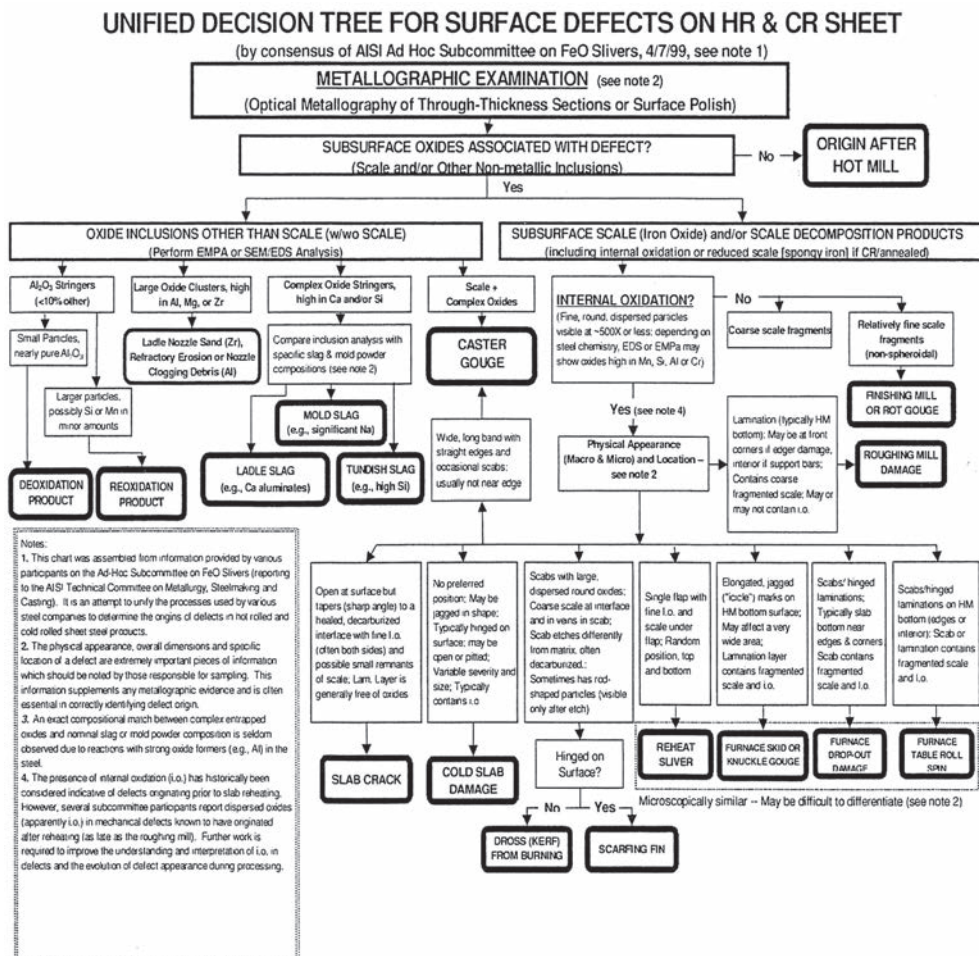


図6 薄板製造で発生する疵の決定樹 (AISI)

参考文献

1) 新日本製鐵環境・社会報告書 2007, 12-13.

2) 吉田勝成：鋼材表面特性に及ぼすスケール性状の影響，日本鉄鋼協会，材料の組織と特性部会，(2005)，4.

3) 新日本製鐵株式会社 HP <http://www.nsc.co.jp> より抜粋

4) 黒川一哉，西沢聡：鋼材表面特性に及ぼすスケール性状の影響，日本鉄鋼協会，材料の組織と特性部会，(2005)，121-130.

5) 原田慎三，田中英紀，千葉仁，稲葉東賓：鉄と鋼，61 (1975)，128.

6) 草開清志，杉原俊英，大岡耕之：鉄と鋼，77 (1991) 1, 123-130.

7) 中村峻之，佐藤始夫：鉄と鋼，80 (1994) 3, 237-242.

8) わが国におけるホットストリップ設備および製造技術の進歩，日本鉄鋼協会，(1987)，153-154.

9) 平井悦朗：配管技術，42 (2000)，32-35.

10) 西村哲臣，森本浩史，大池美雄，佐藤準治，東海，福田誠：材料とプロセス，日本鉄鋼協会，6 (1993)，1324-1327.

11) 住永知毅，竹谷昭彦，足立明夫，松本正次，川島浩治，金成昌平：材料とプロセス，日本鉄鋼協会，6 (1993)，1328-1331.

12) 石井吉秀，小土井章夫，和松郁夫：材料とプロセス，日本鉄鋼協会，6 (1993)，1340-1342.

13) 相澤均，福高善己，増野豊彦，三宅秀和：鉄と鋼，79 (1993) 7, 833-840.

14) W. H. Emling et al：2000 STEELMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS, (2000)，453-460.

15) 草開清志，渡辺亮子，池畑智晴，武田実佳子，大西隆，郭喜平，穴田博：鉄と鋼，93 (2007) 5, 379-385.

(2009 年 8 月 31 日受付)

表 1 熱延コイルの欠陥発生パターンと欠陥例

欠陥発生パターン 先端 ⇒ 後端	発生部位	欠陥例	処置 (ダメージ)
A 	前後端のみ	・ヘゲ系欠陥 ・コイル巻きずれ疵	前後端カット (屑落ち)
B 	エッジ部のみ	・シーム疵 ・ヘゲ系欠陥	エッジトリム(屑) 幅変更(振替)
C 	長手単発	・飛び込み疵 ・単発系スリパー欠陥	疵部切断(屑) 切断振替
D 	全幅、全長、 面的発生	・スケール系欠陥 ・ロール疵 ・スリパー 他	全長振替、 屑

表 2 熱延コイルに発生する主なスケールの種類

疵名	原因系	推定原因
ウロコスケール	仕上圧延時の 高温	スタンド間で生成した二次スケールがプリスタリング を起こし二次スケールを咬み込み発生
散砂スケール	ロール肌荒れ	仕上前段ロール表面が梨地状に肌荒れし、スタンド 間で発生した二次スケールが咬み込み発生
流星スケール	ロール肌荒れ	仕上前段ロール表面が流星状に肌荒れし、スタンド 間で発生した二次スケールが咬み込み発生
紡錘スケール	デスケーリング 不良	粗工程でのデスケーリング不良により局部的にスケール が咬み込み発生
赤スケール	Siスケール	加熱炉内でファイアライトが共晶点以上の温度で溶 融し、地鉄界面に楔状に入り込むことによりデスケー リング困難となる。

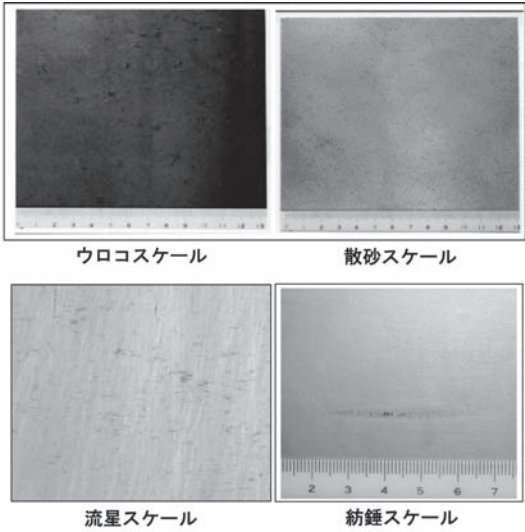


図 7 熱延コイルのスケール疵の外観例

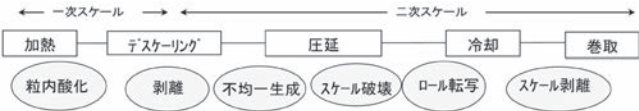


図 8 スケールの機械的性質の調査視点