

# 溶融亜鉛めっき鋼板の表面性状定量化技術

## Quantification of Surface Quality for Hot-dip Zinc-coated Steel Sheets

### 1. はじめに

溶融亜鉛めっき鋼板の製造工程においては、めっきの厚みにむらが生じることによって、鋼板表面に波形の凹凸である湯だれ(湯じわとも呼ばれる)欠陥が発生することがある。今回、湯だれ欠陥の程度を定量的に評価する方法を開発したので、その内容を紹介する。

### 2. 技術紹介

#### 2.1 背景

溶融亜鉛めっき鋼板の製造過程においては、鋼板を溶融亜鉛の入ったポットに通し、その表面をワイピングすることにより付着する溶融亜鉛の均一化を行っているが、湯だれと呼ばれる欠陥が発生することがある。湯だれ欠陥は、**図1**に示すように溶融亜鉛がワイピング処理やその後の凝固する過程でむらになることで発生すると考えられている。

湯だれ欠陥は、従来は定量的な指標がなく、オペレータの目視にて程度の評価を行っていた。しかし、製品品質管理や製造プロセス評価のためには、製品表面性状を客観的に評価することができる指標が必要である。

#### 2.2 湯だれ欠陥の凹凸測定

湯だれ欠陥は、目視で見ると平面方向に数 mm 以上の間隔での凹凸が見られる。そこで、表面の凹凸を測定し、その凹凸データを用いて定量化を行うこととした。凹凸測定には非接触式三次元測定機を用いた。

湯だれ欠陥の凹凸測定結果を**図2**に示す。湯だれ欠陥で

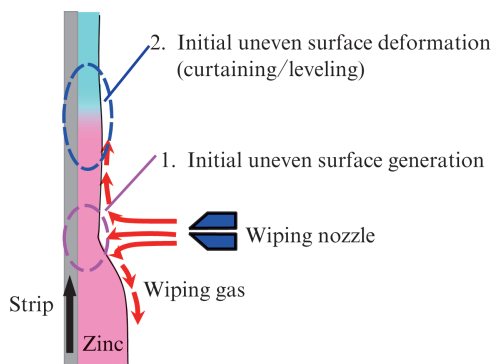


図1 湯だれ欠陥の発生メカニズム

Fig. 1 Mechanism of 'yudare' defects deformation

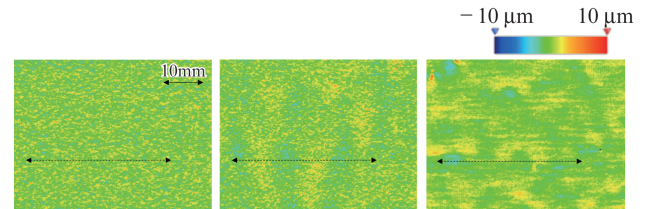


図2 湯だれ欠陥の凹凸(左:なし, 中:軽度, 右:重度)

Fig. 2 Height maps of 'yudare' defects (left: no defects, center: light yudare, right: heavy yudare)

は平面方向に数 mm~数十 mm の間隔の凹凸が存在することがわかる。凹凸の高さについては、数  $\mu\text{m}$  程度である。

#### 2.3 定量化の考え方

湯だれ欠陥の定量化の考え方について説明する。

表面性状のパラメータを算出する際には、ある断面曲線に対して、高周波成分(例えば周期 $\lambda=0.8\text{ mm}$ 未満のもの)を抜き出したものを粗さ曲線、低周波成分(例えば周期 $\lambda=0.8\text{ mm}$ 以上のもの)を抜き出したものをうねり曲線と呼ぶ。算術平均粗さ  $Ra$  は粗さ曲線の絶対値高さの平均値であり、表面粗さの指標として知られている<sup>1)</sup>。

湯だれ欠陥は、前述のように平面方向に数 mm 以上の間隔での凹凸が見られるが、軽度なものと重度なものうねり曲線を比較した結果、間隔に違いがあることがわかった。**図2**の破線部に対するうねり曲線を**図3**に示す。重度なものは高さには違いないが、間隔の大きなうねりが存在することがわかる。この間隔の大きさに着目し、うねり曲線におけるうねり平均長さ(山の始点間の長さの平均)を取ることで、人間の目視評価と相関性の高い欠陥の指標が得られることを発見した。

うねりの平均長さは一つの断面曲線に対して定義されるため、湯だれを精度良く定量化するためには、複数の断面曲線に対してうねり平均長さを算出する。欠陥のない鋼板

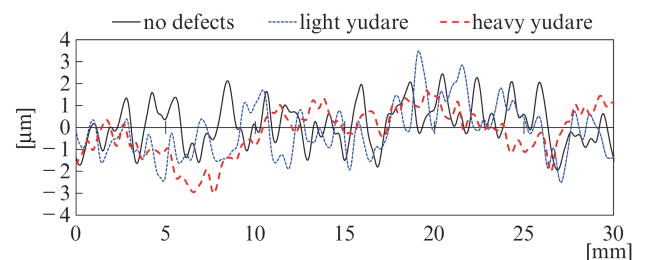


図3 湯だれ欠陥のうねり曲線

Fig. 3 Waviness profiles of 'yudare' defects

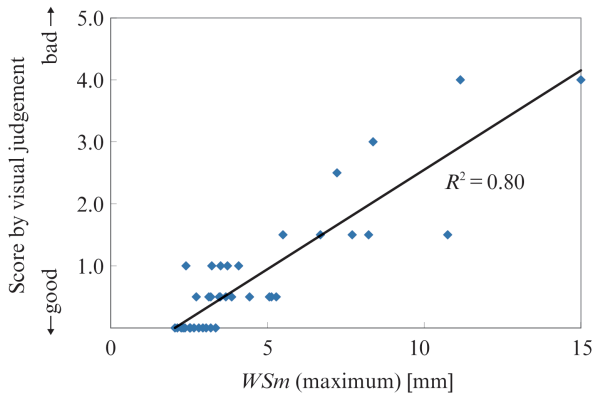


図4 指標1と目視評点との関係

Fig. 4 Relationship between index 1 and score by visual judgment

や軽度な湯だれ欠陥がある鋼板ではどの断面曲線に対しても、うねりの平均長さは小さな値を取るのに対し、中度以上の湯だれ欠陥のある鋼板では、その凹凸のある箇所に応じてうねりの平均長さが大きな値を取る箇所があることにより、平均値または最大値を取ることで湯だれの程度を評価することができる。さらに、平均値と最大値では、最大値の方がより人間の目視評価と相関性が高いことがわかった。人間の目視評価では、特に他の部分と比較して程度の悪い部分に目が行き、不均一や不規則なものを外観が悪いと判断する傾向があると考えられる。この考え方によって、湯だれを定量化することができ、これを指標1とする。

提案指標1と連続溶融亜鉛めっきラインで製造条件を変えて製造された40個の溶融亜鉛めっき鋼板サンプルを作成し、各サンプルについて、人間が目視で0点(良好)から5点(劣悪)の0.5点刻みで湯だれ評点を付与したものととの比較を行った。図4に指標1と目視評点との比較を示す。さまざまなサンプルに対し、相関係数 $R^2=0.80$ と高い相関が得られていることがわかる。ただし、評点0~1のサンプルに限ると、相関はそれほど高くない。

軽度な湯だれに関しては、図3に示したように、うねり曲線の間隔は湯だれの無いものと大きく変わらないため、上記のうねりの平均長さのみでは精度良く評価することができない。この軽度の湯だれ欠陥を、湯だれの無いものと細分化して評価するためには、さらに長周期のむらを抽出することが必要であり、中度以上の湯だれを評価する際に用いたフィルタよりも長周期のカットオフ値を持つフィルタを適用し、高さ方向のパラメータにて評価することが効果的である。図5にフィルタを適用後の曲線の例を示す。特に、高さ方向のパラメータとして、最大高さを用いることで、目視評価と相関性の高い指標となることを発見し、これを指標2とする。

図6に指標2と目視評点0~1のサンプルを取り出した関係を示す。軽度な湯だれに対しては、指標1のうねりの平均長さ $WSm$ の最大値よりも、指標2の凹凸の最大高さ $Sz$ の方が相関関係が深く、効果的な指標となっていることがわ

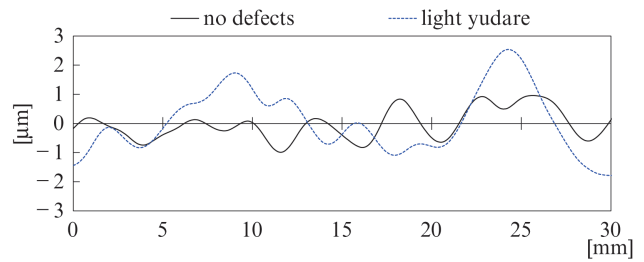


図5 長周期のフィルタ適用後の曲線

Fig. 5 Profiles after low-pass filters

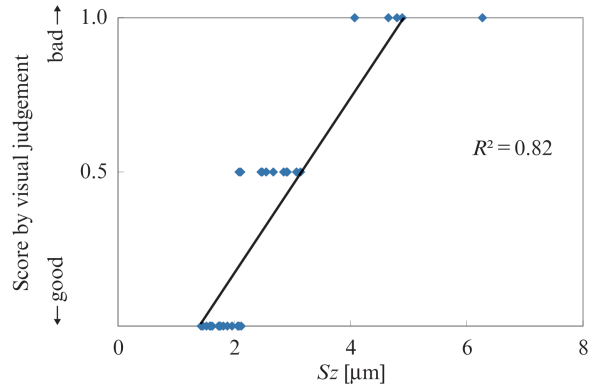


図6 指標2と目視評点との関係

Fig. 6 Relationship between index 2 and score by visual judgment

かる。

## 2.4 定量化の指標

定量化の指標を以下にまとめる。指標1として、中度~重度の湯だれの定量化には、複数の断面曲線を取り、うねりの平均長さ( $WSm$ )の最大値を用いる。指標1で一定以下の値となったものに対しては軽度湯だれの評価のため、指標2として、より長周期のカットオフ値のフィルタを適用した後の最大高さ( $Sz$ )を用いる。

評価の指標としては、今回は凹凸のみを紹介したが、輝度を組み合わせることでさらに精度を高めることができる。

## 3. おわりに

湯だれ欠陥の程度を定量的に評価する指標の開発を行った。今回、開発した指標は、製品品質管理や製造プロセス評価に用いることで、表面外観品質の向上、表面性状に優れた鋼板の開発に活用することが可能である。

### 参考文献

- 1) 日本工業規格. JIS B 0601 (2013).

### 〈問い合わせ先〉

JFE スチール スチール研究所 計測制御研究部  
TEL: 044-322-6447 FAX: 044-322-6518