

技術資料

表面凹凸形状を有した耐指紋性ステンレス鋼板の開発

狩 野 忍* 三 浦 教 昌**

The Development of Fingerprint Resistant Stainless Steel Sheet with Irregular Shaped Surface

Shinobu Karino, Norimasa Miura

Synopsis:

In the present study, the design guideline for an irregular-shaped surface with fingerprint resistance was investigated by conducting a cold rolling test with a laboratory mill.

The possibility of manufacturing an irregular-shaped surface with fingerprint resistance was also examined by conducting a cold rolling test with an actual mill.

The results obtained are as follows:

- 1) The design guideline for an irregular-shaped surface with fingerprint resistance was considered so that surface roughness 'Ra' was within the range from $3.0\mu\text{m}$ to $8.5\mu\text{m}$, 'Sm' was within the range from $150\mu\text{m}$ to $600\mu\text{m}$, and the protrusion area ratio was within the range from 40% to 60%.
- 2) Stainless steel sheet having an irregular-shaped surface with fingerprint resistance could be manufactured by an actual production mill.

Fingerprint-resistant stainless steel sheet was developed by applying an irregular shape design to the steel sheet surface.

This design guideline for an irregular-shaped surface is expected to be applied for stainless sheet used for many applications, such as elevators or building exterior panels.

1. 緒 言

近年、建築部材や車両部品等には、塗装を省略し金属光沢を意匠とする部材が多く、耐食性の観点からステンレス鋼板が用いられている。しかしながら、ステンレス鋼板の表面は、塗装表面に比べて、製造工程や施工現場で付着した指紋が目立ちやすく、意匠性を損なう問題がある。そのため鉄鋼各社は、鋼板の表面を改質し、耐指紋性を付与させたステンレス鋼板（以下、耐指紋性ステンレス鋼板と記載）を製造している。耐指紋性ステンレス鋼板は以下に示すように大きく二つのタイプに分けられる。

①指紋が付着しても容易に拭き取ることができる鋼板。

②指紋が付着しても見た目に目立ちにくい鋼板。

タイプ①の鋼板は、はっ水性のある有機皮膜表面処理、または塗装が施されており、人体指紋のもつ水と油をはっ水機能で浮かせることで、簡単に指紋が拭き取れる機能を主としている。各種鋼板に表面処理および塗装をすることで多くのバリエーションを持つことができるが、経年劣化とともに機能が低下するため、屋外や高温環境には不向きとされている。

タイプ②の鋼板は、鋼板表面に微細な凹凸形状を有しており、指紋の付着面積と光の反射を減少させることで、付着した指紋を目立ちにくくする機能（以下、耐指紋性と記載）を有している。

一般的に人間の視覚は、眼の網膜の奥に存在する視細胞

*加工技術研究所 加工第二研究チーム 主任研究員

**加工技術研究所 加工第二研究チーム チームリーダー

胞が物体に反射した光を感じることで明暗や色、形をとらえている。指紋は、付着した面積が大きく、指紋が付着している部分と付着していない部分の反射光の量に差異があるほど目立ちやすい¹⁾。図1に表面に凹凸を付与していない鋼板(以下、原板と記載)と表面に凹凸形状を有する鋼板(以下、エンボス鋼板と記載)に指紋を押捺したときの指紋の付着状況を示す。指紋は、付着した面積ができるだけ小さいほうが目立ちにくくなる。エンボス鋼板Ⅰとエンボス鋼板Ⅱは、原板に比べて指紋の付着する面積が小さいため、指紋が目立ちにくい。

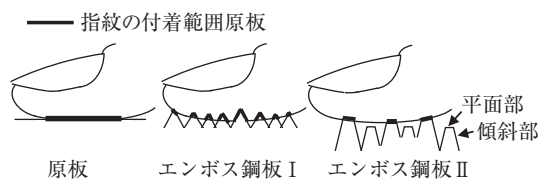


図1 表面粗さの異なる鋼板の指紋の付着状態の差
Fig. 1 Difference in adhesion state of fingerprints on steel sheets with different surface roughness.

図2に指紋の可視メカニズムと表面形状の関係を示す。通常、原板は入射光が鋼板表面で一定量吸収され、残りが反射光Aとなる。また、指紋が付着した部分は、指紋の影響で入射光がより吸収され、反射光Bとなる。このときの反射光の強度は、 $A > B$ の関係であり、 $A - B$ の量が多いほど指紋が目立ちやすくなる。それに対して、エンボス鋼板は凸部上面に指紋が付着するため、反射光Bの強度は原板と同様であるが、指紋の付着面積が小さいため目立ちにくい。さらに反射光A'は、凹部傾斜部間で反射するごとに鋼板に吸収されるため、原板の反射光Aに比べて、強度が弱くなる。従って、反射光の強度は、 $(A - B) > (A' - B)$ の関係となり、指紋が目立ちにくくなる。

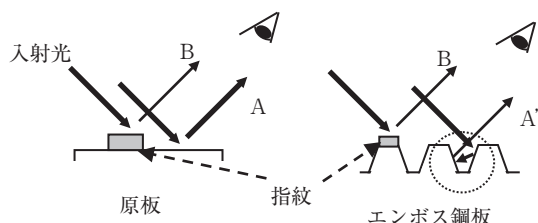


図2 指紋が付着した鋼板の光の反射と鋼板の表面形状の関係および指紋の可視メカニズム
Fig. 2 Relationship between the reflection of light of the steel sheet with adhered fingerprint and the surface shape of the steel sheet, and the visible mechanism of the fingerprint.

当社では市場ニーズに対応すべく、スターライトエンボス²⁾を代表とする各種意匠性エンボス鋼板を製造している。これらは意匠性を主としており、付加的に指紋が目立ちにくい機能を有している。そこで、当社の長年に渡って蓄積したエンボス圧延技術を用いて、指紋の目立ちにくさを主機能とした当社独自の耐指紋性ステンレス鋼板を開発した。本報では、ラボ圧延機を用いて耐指紋性に及ぼす表面凹凸形状および圧延条件を明らかにするとともに、実機圧延機による製造性の検証結果を報告する。

2. 耐指紋性ステンレス鋼板の開発思想

2.1 耐指紋性ステンレス鋼板の表面凹凸形状の考え方

図3に耐指紋性の観点からの表面形状と入射・反射光の減衰、指紋の付着面積の考え方を示す。指紋は、表面凹凸形状の主に凸部上面に付着する。凸部上面の面積は指紋を目視で認識しにくいように、小さい方が良い。また、凹部の深さと幅は、反射光の反射回数を増加させ反射光の強度を適度に小さくするため、深くて狭い方が良いと考えた。

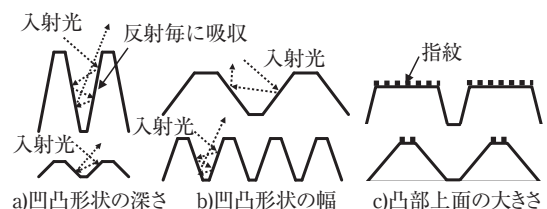


図3 鋼板表面形状と入射・反射光の関係、鋼板表面形状と指紋付着面積の関係
Fig. 3 Relationship between surface shape of steel sheet and attenuation of incident/reflected light, and relationship between surface shape and area with adhered fingerprint.

2.2 ワークロールの表面凹凸形状加工法

当社のエンボス鋼板は、表面に凹凸形状を付与したワークロールを用いて、鋼板表面に凹凸形状を圧延で転写して製造している。表面凹凸形状を圧延で鋼板に付与するため、ワークロールの表面に凹凸形状を付与する加工方法を検討した。ワークロールへの表面凹凸形状の付与は、ショットブラスト、ウェットブラスト、エッチングおよび放電加工が一般的である。図4にワークロール表面の各種加工方法を示す。ショットブラストおよびウェットブラストは、研削材と呼ばれる硬質粒状物をエア及び液体に混合し、ワークロール表面に噴射して加工す

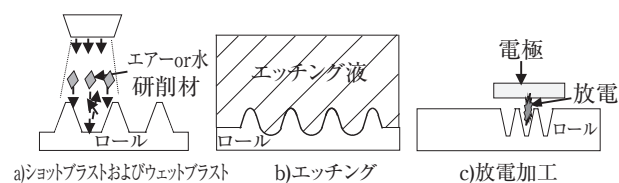


図4 圧延ロール表面の各種加工方法

Fig. 4 Processing methods on the surface of the roll of mill.

るため、ワークロール表面の凹部が広くなりやすい。また、エッチングでは、ワークロール表面を段階的に溶解するため、凹凸のコーナー部が丸くなりやすく、微細凹凸形状の加工は不向きとされている。放電加工は、電極からのアーク放電を利用して、ワークロール表面を削るため、凹部の幅が狭くなりやすい。

上述より、ワークロールの加工方法として、放電加工が適正と判断した。

3. ラボ実験方法

3.1 供試材

表1に供試材を示す。供試材にはSUS304を用いた。表面仕上げには、鏡面に近いほど指紋との反射の差が大きくなるため、BAやNo.2Bではなく、No.2Dを選定した³⁾。ラボ実験では切断した鋼板を用いて、ラボ圧延機で実験を行った。

表1 供試材の鋼種と化学成分と仕様

Table 1 Chemical compositions of sample and specification

鋼種	化学成分(mass%)					仕上げ	寸法(mm)
	C	Si	Mn	Ni	Cr		
SUS 304	0.06	0.51	1.07	8.06	18.48	No.2D	1.0 ^t ×50 ^w ×1000 ^L

3.2 実験設備

図5にラボ圧延機の概略図を示す。上側に、ワークロール、下側に、フラットロールを配置した。ワークロールおよびフラットロールの直径は、φ110mmである。ワークロールの表面凹凸形状は、放電加工で付与した。実験には、算術平均粗さRa(以下、Raと記載)が2.5, 4, 5, 6, 9, 15μmのワークロールを用いた。

3.3 ラボ圧延条件

表2にラボ圧延条件を示す。ラボ圧延においては、圧下率を2, 4, 6, 8, 10%, 送り速度を1m/minとし、前方と

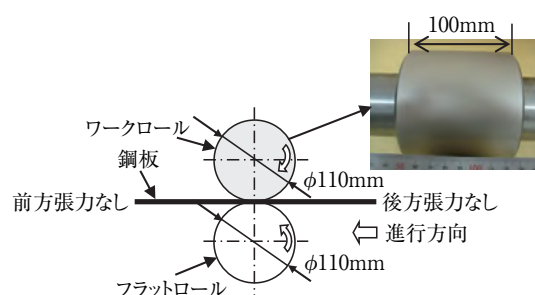


図5 ラボ圧延機のロール配置と圧延方法

Fig. 5 Roll arrangement and rolling method of a laboratory mill.

表2 ラボ圧延条件

Table 2 Rolling conditions of laboratory mill

項目		設定値
圧下率(%)※		2, 4, 6, 8, 10
送り速度(m/min)		1
張力(N/mm ²)	前方	付加せず
	後方	付加せず
ワークロール表面Ra(μm)		2.5, 4, 5, 6, 9, 15
圧延油		無し

※圧下率(%) = {(圧延前板厚-圧延後板厚)/圧延前板厚}×100

後方の張力は付加せず、潤滑油を使用しなかった。また、圧下率(%)は{(圧延前板厚-圧延後板厚)/圧延前板厚}×100で算出した。

3.4 表面凹凸形状および耐指紋性の評価方法

図6に表面凹凸形状の評価項目を示す。表面凹凸形状の評価指標として、凹部形状の深さは算術平均粗さRa, 凹凸形状の幅は凹凸平均間隔Sm(以下、Smと記載), 凸部上面の大きさは、単位面積当たりに占める凸

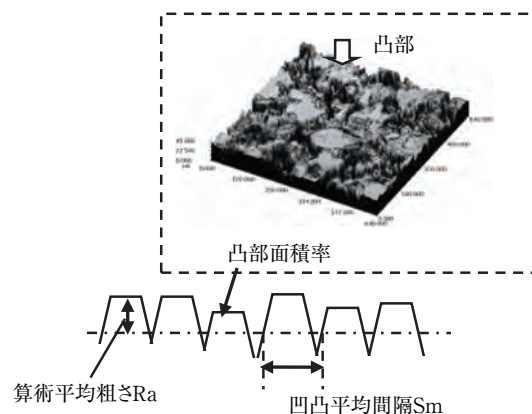


図6 鋼板表面の凹凸形状の評価項目

Fig. 6 Evaluation items of surface shape of steel sheet.

部上面の面積の割合として、凸部面積率を選定した。RaおよびSmは、それぞれJIS B 0601-1994で規定する算術平均粗さRaと凹凸平均間隔Smに準拠した。RaとSmの測定には、(株)東京精密製粗さ測定機E-MC-S24を使用した。凸部面積率は、OLYMPUS(株)製LASER SCANNING MICROSCOPE OLSI200を用いて、鋼板の凹凸の変位量を測定し、単位面積あたりの凸部上面の面積率を算出した。測定位置は板幅の中央位置とした。

耐指紋性の評価においては、人工指紋液(TDK(株)製指紋付着性能評価液)を用いて、指を模擬したウレタン製φ10mmの丸型スタンプを9.8Nで鋼板に押捺し(以下、人工指紋と記載)、目視で評価した。図7に4段階の評価基準を示す。1～4の整数で評価し、後者ほど指紋が目立ちにくい。また、評価3以上を耐指紋性良好レベルとした。

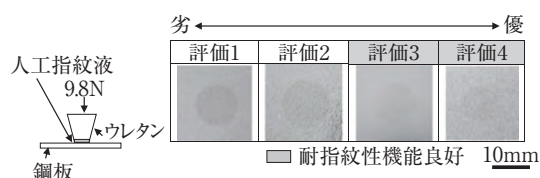


図7 人工指紋試験における耐指紋性の評価基準
Fig. 7 Evaluation criteria for fingerprint resistance in artificial fingerprint test.

4. ラボ実験結果および考察

4.1 耐指紋性に及ぼす鋼板Raの影響

図8にラボ圧延機で試作した鋼板(以下、ラボ圧延エンボス鋼板と記載)の表面凹凸形状の測定結果の一例を示す。ラボ圧延エンボス鋼板の表面凹凸形状の深さは、原板のNo.2D仕上げ材に比べて深く、スターライトエンボス鋼板に比べてやや浅かった。また、表面凹凸の間隔は、スターライトエンボス鋼板に比べて狭く、指紋が目立ちにくさの開発の考え方として、狙いを満足した。

図9に鋼板Raに及ぼす圧下率とワークロールの表面Ra(以下、ロールRaと記載)の影響および耐指紋性の評価結果を示す。図7記載の評価基準を用いて、耐指紋性を目視により比較評価し、図中にプロットの種類で示した。鋼板Raは、ロールRaと圧下率の増加に伴って大きくなる傾向であるが、圧下率が約8%以上の場合に鋼板Raの変化が見られなかった。これは、ロール表面凹凸の凹部に、素材がほぼ充満したためと考えられる。

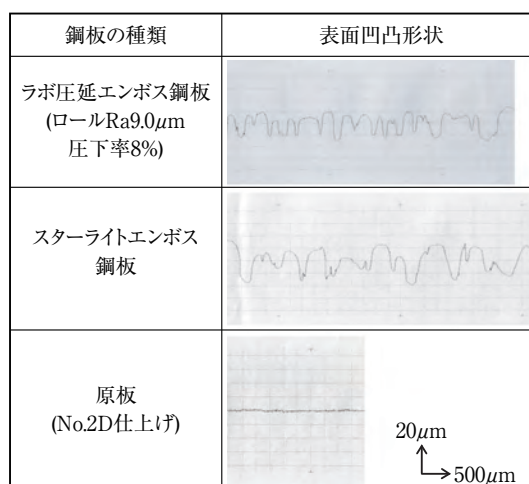
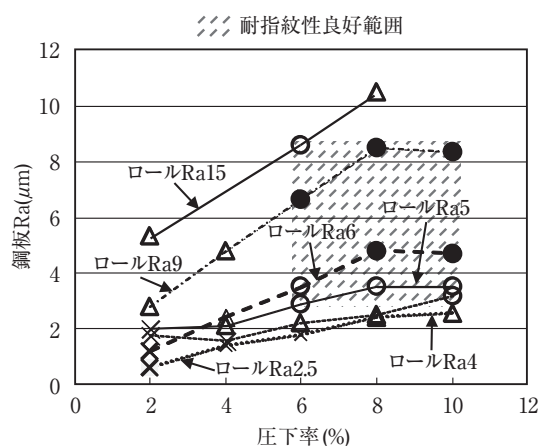


図8 各鋼板の表面凹凸形状測定結果
Fig. 8 Result of measurement of surface shape of steel sheets.



記号	評価	耐指紋性
●	4	良好
○	3	
△	2	不良
×	1	

図9 鋼板Raおよび耐指紋性に及ぼす圧下率とロールRaの影響
Fig. 9 Effect of rolling reduction ratio and Ra of roll on Ra of steel sheet and fingerprint resistance.

ロールRaが小さく、圧下率が低いほど人工指紋が目立ちやすく、逆にロールRaが大きく、圧下率が高いほど人工指紋が目立ちにくくなる傾向であった。ただし、図中のロールRa15μm、圧下率8%の条件のプロットに示すように、鋼板Raが大きすぎると人工指紋は目立ちやすくなった。本結果から、耐指紋性が良好な範囲は、圧下率6～10%、鋼板Ra3.0～8.5μmであった。

耐指紋性が良好であった条件範囲の鋼板Smと凸部面積率を鋼板Raで整理した。図10に鋼板Ra、鋼板Smおよび耐指紋性の関係、図11に鋼板Ra、凸部面積率および

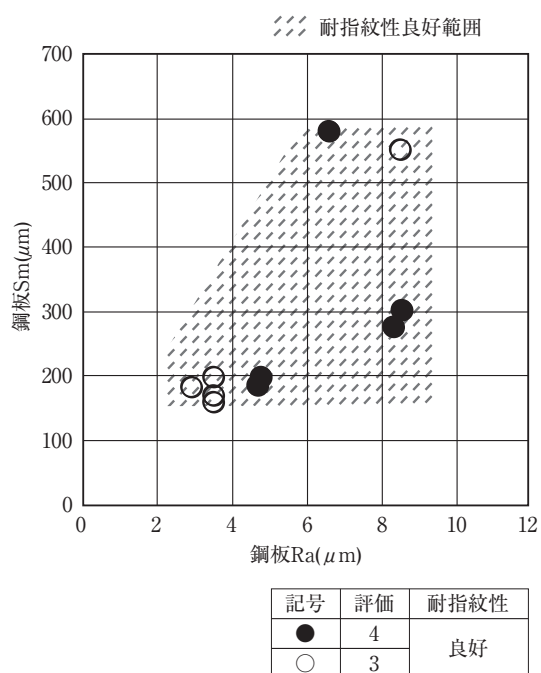


図10 耐指紋性が良好な鋼板の鋼板Raと鋼板Smの関係
Fig.10 Relationship between Ra and Sm of steel sheets with good fingerprint resistance.

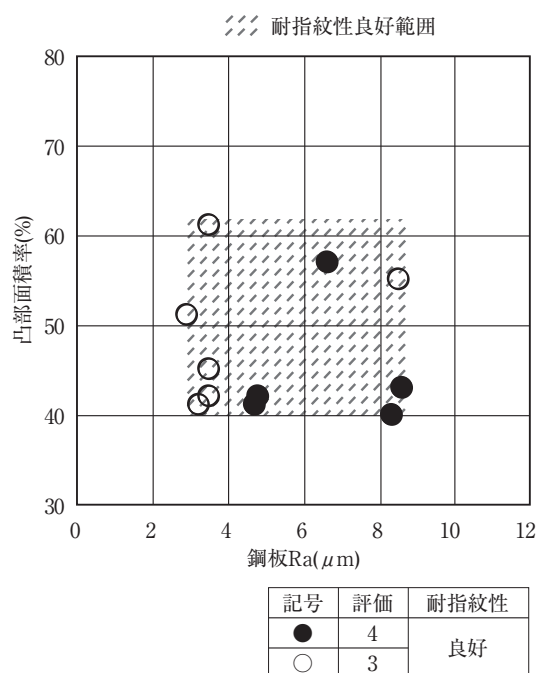


図11 耐指紋性が良好な鋼板の鋼板Raと凸部面積率の関係
Fig.11 Relationship between Ra and area ratio of protrusion portion of steel sheets with good fingerprint resistance.

耐指紋性の関係を示す。

指紋が目立ちにくい鋼板は、鋼板Smが150~600 μ m、凸部面積率が40~60%の範囲であった。

4.2 ラボ圧延エンボス鋼板の耐指紋性

図12に図9で耐指紋性が良好であったラボ圧延エンボス鋼板と原板のNo.2D仕上げ材およびスターライトエンボス鋼板の人工指紋による耐指紋性の評価結果を示す。ラボ圧延エンボス鋼板には、Ra9 μ mのワークロールを用い、8%の圧下率で圧延した鋼板Raが8.5 μ mのサンプルを用いた。ラボ圧延エンボス鋼板は、原板のNo.2D仕上げ材やスターライトエンボス鋼板に比べて、指紋が目立ちにくいことを確認した。

鋼板の種類	ラボ圧延 エンボス鋼板※	スターライト エンボス鋼板	原板 No.2D仕上げ
人工指紋液 押捺後外観			
評価	4	3	2

※ロールRa9 μ m, 圧下率8%

図12 ラボ圧延エンボス鋼板の耐指紋性

Fig.12 Fingerprint resistance of steel sheet rolled in a laboratory.

以上の結果、耐指紋性を良好とするには、鋼板Raが3.0~8.5 μ m、鋼板Smが150~600 μ mおよび凸部面積率が40~60%の3条件を有する表面凹凸形状(以下、目標表面凹凸形状と記載)が適正であることがわかった。本知見をもとに、実機検証を行った。

5. 製造ラインによる実機検証

供試材には、No.2D仕上げSUS304の板厚0.8mmのコイル材を用いた。図13に実機圧延機の概略図を示す。ワー

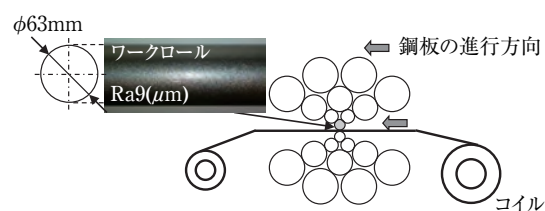


図13 実機圧延機のロール配置と圧延方法

Fig.13 Roll arrangement and rolling method of an actual production mill.

クロールの直径はφ63mmである。実機圧延機では、圧下率を7%にし、前方張力および後方張力を付加して、潤滑油を用いた。圧下率は、ラボ実験により耐指紋性が良好であった範囲の条件を適用した。図14にラボの圧延機の圧延荷重をもとに、目標表面凹凸形状の鋼板Raを

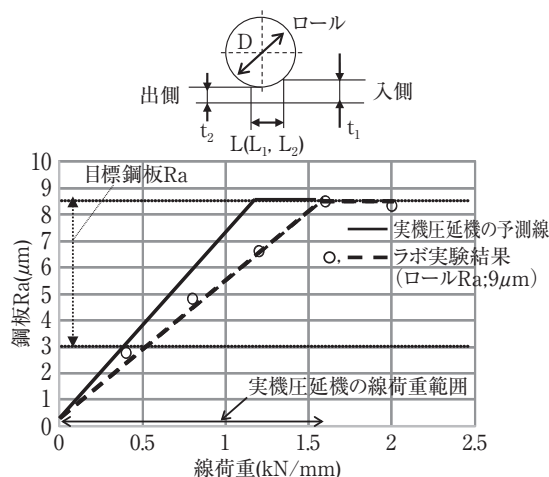


図14 実機圧延機による製造可能性の予測

Fig.14 Prediction of manufacturing possibility in actual production mill.

確保するのに必要な実機圧延機の線荷重 (圧延荷重/ロール幅) の予測結果を示す。ラボ圧延機の接触長さ L_1 と実機圧延機の接触長さ L_2 は、それぞれ $L=\sqrt{(D/2) \times (t_1 - t_2)}$ の式⁴⁾を用いて算出した。また、ラボ圧延機のロール幅は100mmで、実機圧延機のロール幅は1200mmと仮定した。ラボ圧延機の線荷重は、 P_1 とした。実機圧延機の線荷重 P_2 は、ラボ圧延機で抽出した各鋼板Ra付与に必要な圧延条件をもとに、 $P_2=(P_1 \times L_2)/L_1$ で算出した。その結果、実機圧延機の線荷重は、目標表面凹凸形状の鋼板Raの付与が可能な線荷重の範囲内であることが予測できた。

上述の予測結果をもとに、実機圧延機で検証を行った。圧延後のコイル材から表面凹凸形状の測定用試験片を採取し、鋼板Ra、鋼板Sm、凸部面積率を測定した。図15、16および17に実機圧延機で圧延したエンボス鋼板の鋼板Ra、鋼板Smおよび凸部面積率の測定結果をそれぞれ示す。鋼板Ra、鋼板Smおよび凸部面積率は、板幅の中心位置Cと板端から50mm内側の位置WとDの計3ヶ所を測定した。

位置Cにおける鋼板Ra、鋼板Smおよび凸部面積率は、位置Wと位置Dのそれらに比べて、若干異なるものの、ラボ実験で判明した指紋が目立ちにくい開発指標の範囲

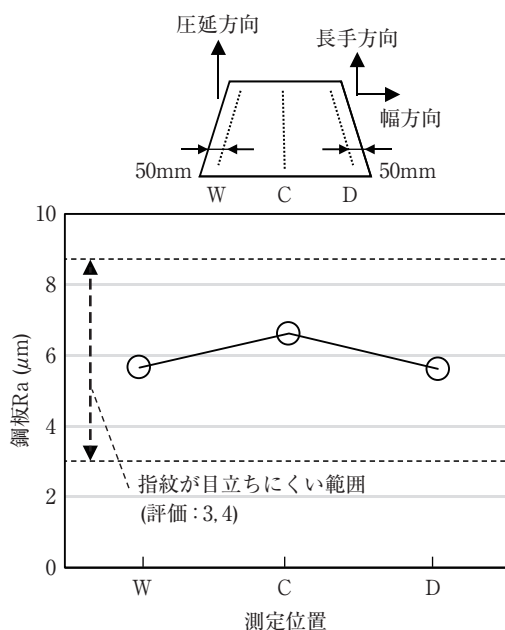


図15 実機で圧延したエンボス鋼板の鋼板Raの測定結果

Fig.15 Result of measuring Ra of embossed steel sheet rolled in actual production mill.

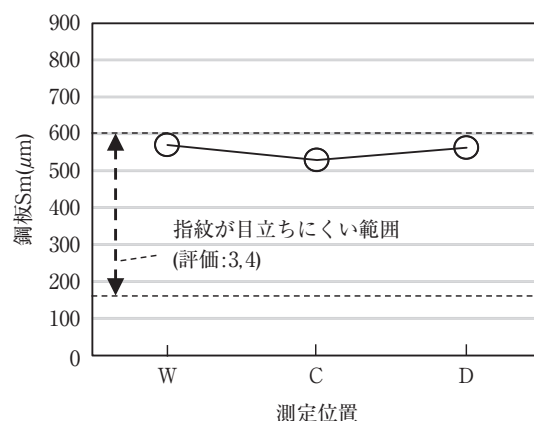


図16 実機で圧延したエンボス鋼板の鋼板Smの測定結果

Fig.16 Result of measuring Sm of embossed steel sheet rolled in actual production mill.

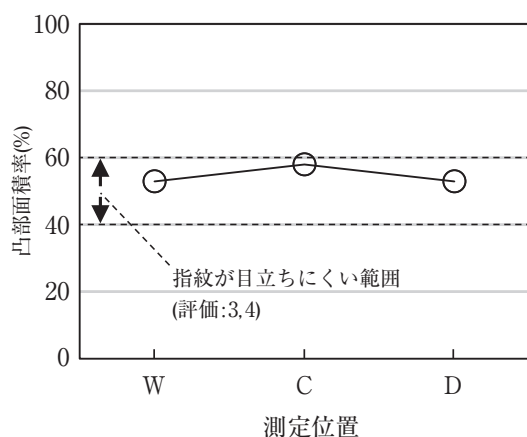


図17 実機で圧延したエンボス鋼板の凸部面積率

Fig.17 Result of measuring area ratio of protrusion portion of embossed steel sheet rolled in actual production mill.

内であることを確認した。図18に人工指紋による評価結果を示す。実機圧延エンボス鋼板の指紋が目立ちにくさは、ラボ圧延エンボス鋼板と同様の評価4レベルであり、指紋が目立ちにくさとしては満足するものであった。

鋼板の種類	実機圧延 エンボス鋼板(位置C)	ラボ圧延 エンボス鋼板	SUS304 (No.2D)
人工指紋液 押捺後外観			
評価	4	4	1

図18 実機およびラボで圧延した開発エンボス鋼板とNo.2D仕上げSUS304の耐指紋性評価結果

Fig.18 Fingerprint resistance of embossed steel sheets developed rolled in actual production mill and laboratory, and No.2D finished SUS304.

以上のように、表面凹凸形状の指標をもとに実機圧延機で、指紋が目立ちにくい機能を有するステンレス鋼板の製造が可能となった。

6. 結 言

本開発では、ラボ圧延機で指紋が目立ちにくい表面凹凸形状の開発指標を明らかにし、実機圧延機で製造性を検証した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 指紋が目立ちにくい表面凹凸形状の開発指標は、鋼板Raが $3.0 \sim 8.5 \mu\text{m}$ 、鋼板Smが $150 \sim 600 \mu\text{m}$ および凸部面積率が $40 \sim 60\%$ であった。

- 2) 指紋が目立ちにくい表面凹凸形状を有する鋼板は、実機圧延機で製造可能であった。

以上のように指紋の目立ちにくさに特化した耐指紋性鋼板表面の凹凸形状を設計することができた。

今後、耐指紋性が要求されるエレベータや建材パネル等の幅広い用途に用いるステンレス鋼板に、本開発技術が適用されることを期待する。

参考文献

- 1) 色のはなし編集委員会:色のはなしI, 技報堂出版, 東京 (1986), 11
- 2) 日新製鋼株式会社ホームページ, 製品一覧・カタログ, <https://products.nisshin-steel.co.jp/list/> (閲覧日:2018年8月16日)
- 3) 日本工業規格, JIS G 4305 (2012)
- 4) 鈴木 弘:塑性加工, 裳華房, 東京, (2006), 113