

© 1991 ISIJ

技術報告

17%Cr ステンレス薄鋼板の r 値と表面光沢に
及ぼす冷延ロール径の影響原勢 二郎*・太田 国照*²・秋田 浩一*³Effect of Roll Diameter in Cold Rolling on the r -value and Specular
Glossiness in 17%Cr Stainless Steel Sheet

Jirou HARASE, Kuniteru OHTA and Kohiti AKITA

Synopsis:

Effect of roll diameter in cold rolling on r -value and specular glossiness on 17%Cr stainless steel sheet has been investigated.

It was found that r -value increased with increasing roll diameter in the cold rolling and the specular glossiness increased when cold rolled with small diameter roll in the later part of cold rolling.

Combination of large diameter roll in the former stage of cold rolling and small diameter in the later stage of cold rolling gave better r -value and higher specular glossiness than cold rolled only by small or large diameter roll.

Key words: ferritic stainless steel; cold rolling; 17%Cr steel; SUS430; r -value.

1. 緒 言

ステンレス薄鋼板は、通常ゼンジマー圧延機と呼ばれるワークロール径が 60 mm 程度の小径のロールで圧延されている。ステンレス薄鋼板は、普通鋼薄板と比べ、変形抵抗が大きいことと、大径ロールでは、圧延できる厚さに限界があるためである。しかし小径ロール圧延は、大径ロール圧延と比べ生産性が落ちる。近年ステンレス薄鋼板の需要が増加傾向にあり、大量に生産するためには、普通鋼薄板の冷間圧延で広く使われている大径ロールのタンデム冷間圧延機で圧延することが強く望まれる。ロール径の薄鋼板の材質特に加工性 (r 値) に及ぼす影響については、これまでに多くの報告がある^{1)~6)}が、フェライトステンレス薄板の加工性 (r 値) や表面性状に対する冷延ロール径の影響についての研究はほとんど見られない。そこで SUS430 で代表される 17%Cr ステンレス薄鋼板を大径ロールで圧延した場合、 r 値と表面性状にどのような問題があるか、小径ロール圧延と比較して調査した⁷⁾⁸⁾。

2. r 値とロール径の関係

ロール径の r 値に及ぼす影響を知る目的で、ロール径の異なる研究室圧延機 (ロール径 60 mm, 150 mm, 300 mm の三種類) を用いて偵察実験を行った。供試材は 17%Cr ステンレスに、Ti が添加された SUS4301x (C: 0.01, Si: 0.64, Mn: 1.32, P: 0.02, S: 0.005, Cr: 16.7, Ti: 0.34, N: 0.008 wt%) と Al が 0.12% 添加された SUS430 (C: 0.047, Si: 0.31, Mn: 0.1, P: 0.026, S: 0.006, Cu: 0.02, Ni: 0.1, Cr: 16.14, Al: 0.12, N: 0.0102 wt%) である。いずれも厚さ 3.8 mm の現場熱延板で熱延板焼鈍を行うことなく最終厚み 0.4 mm (冷延率 90%) まで冷間圧延を行った。

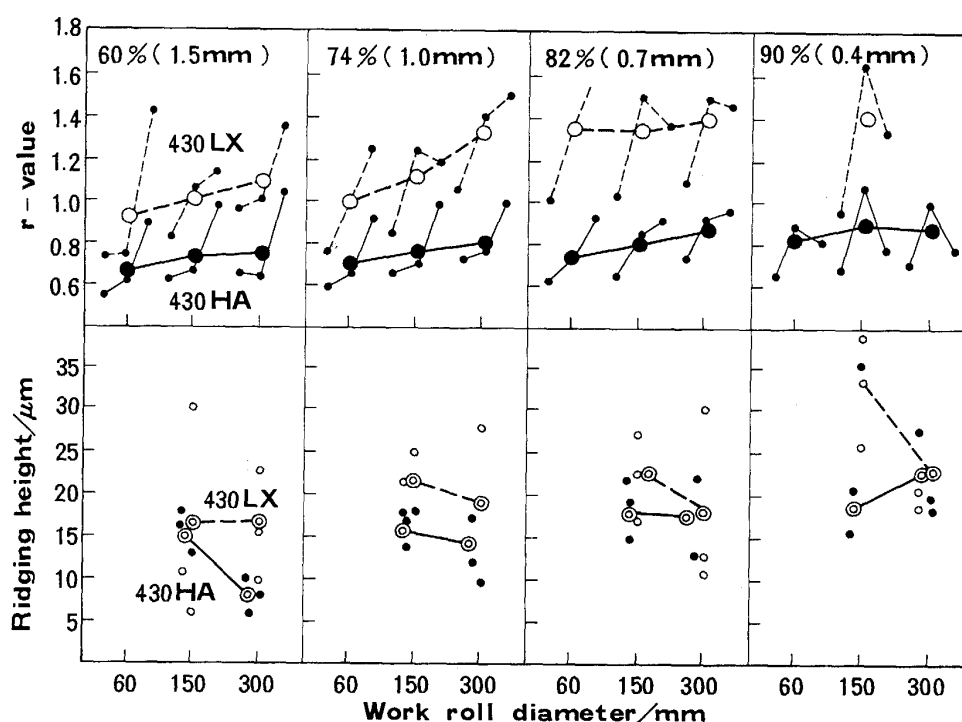
圧延油は、パーム油を使い、ロール径 60 mm では 0.4 mm 厚みまでを約 30 から 40 パスで圧延し、ロール径 150 mm と 300 mm では 0.4 mm 厚みまで約 20 から 30 パスで圧延した。圧延率 60%, 74%, 82%, 90% のところで試片を切り出し 842°C で 2 min 塩浴中で加熱し空冷した。これらの試片の r 値リザングを測定し、

昭和 59 年 10 月・63 年 4 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 3 月 5 日受付 (Received Mar. 5, 1990)

* 新日本製鉄(株)電磁鋼研究センター Ph. D. (Electrical Steel Research Lab., Nippon Steel Corp., 1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*² 新日本製鉄(株)第三技術研究所 (現: 新日本製鉄(株)エレクトロニクス研究所) (R & D Laboratories-III, Now Electronics R & D Laboratories, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)第三技術研究所 (現: 高砂鉄工(株)) (R & D Laboratories-III, Nippon Steel Corp., Now Takasago Steel Co.)

Fig. 1. Relationship between r -value, riding height and roll diameter (labo mills).Table 1. Cold rolling condition for the investigation of the effect of roll diameter on the r -value and the riding height of 17%Cr steel containing 0.12% Al (actual cold rolling mills were used).

Mill	W. R. dia/mm	Labricant	Pass Schedule (reduction 15~17%/pass)				Tension	Rolling Speed
Z mill	55	Mineral oil	2.85mm	↓	↓	↓	8~24 kg/mm ²	50 m/min
			↓	1.35	0.80	0.40		
			2.37	↓	↓			
4Hi Rev.	220	Emulsion (mineral type)	↓	1.13	0.67			
			1.96	↓	↓			
			↓	0.95	0.57			
4Hi Rev.	450	Emulsion (tallow type)	1.62	↓	↓			
			↓	0.85	0.47			

その結果を Fig. 1 に示す。リジング高さの測定法は後述する。図からロール径のリジングに及ぼす影響は明瞭ではないが、ロール径が大きいと r 値が向上する傾向がみられたので、実機圧延機を使い確認実験を行った。素材は厚さ 2.85 mm の現場熱延材 (C: 0.055, Si: 0.30, Mn: 0.35, P: 0.020, S: 0.005, Cr: 16.4, Al: 0.04, N: 0.011 wt%) で熱延板焼鈍 (840°C × 4 h) を工場で行った材料である。

この熱延板を実機 Z ミル (ロール径 55 mm)、4Hi リバース圧延機 (ロール径 220 mm と 450 mm) で厚さ 0.4

mm まで Table 1 に示した条件で圧延した。この場合ロール径以外の条件は同一となるように圧下パススケジュール、圧延速度を揃えたが、圧延油はそれぞれの圧延機で現に使用しているものを使用した。圧延率 60%、72%、80%、86% のところで試片を切り出し 842°C で 2 min 塩浴中で加熱し空冷した。これらの試片の r 値リジングを測定し、その結果を Fig. 2 に示す。

図からリジングに及ぼすロール径の影響は明瞭ではないが、 r 値はロール径が大きい方が高いことが確認できた。

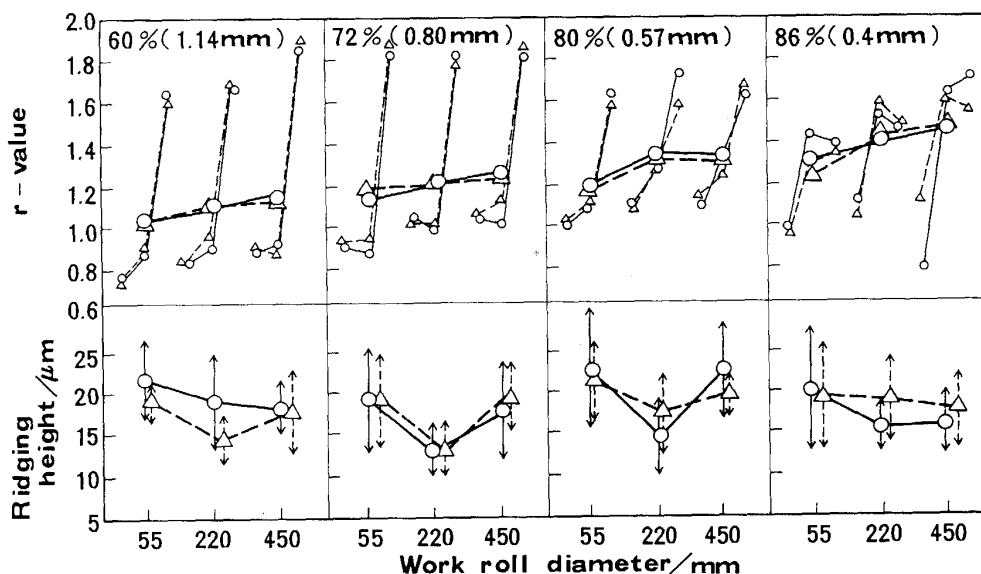


Fig. 2. Relationship between r -value, ridging height and roll diameter (actual mills).

これらの実験結果から 17%Cr ステンレス薄鋼板も普通鋼薄板同様、大径ロール圧延で r 値が向上することが分かった。

ところでこのような大径ロールのみでは困難な薄手圧延の場合、圧延の前段は大径、後段は小径ロールで圧延すれば、大径ロールのみの圧延と比べてより薄い鋼板の圧延が可能となる。そこでこのような大径、小径ロールを組み合わせた圧延で r 値はどうなるかを知る目的で実機冷延機と研究室冷延機を組み合わせた実験を行った。出発素材は厚さ 2mm の熱延コイル (C:0.047, Si:0.31, Mn:0.1, P:0.026, S:0.006, Cu:0.02, Ni:0.1, Cr:16.14, Al:0.12, N:0.0102 wt%) でこれを 3 コイル使って、各コイルを 2 分割してそれぞれ次の三種類の実機冷延機で 0.4 mm 厚みまで圧延した (冷延率 80%)。ロール径 55 mm の Z ミル (7 パス圧延, 鋳物系圧延油を使用), ロール径 300 mm の 6Hi の 1 スタンド圧延機 (7 パス, 一方向圧延, 牛脂系圧延油を使用), ロール径 450 mm の 4Hi, 4 スタンドタンデム圧延機 (4 パス, 一方向圧延, 牛脂系圧延油を使用), ロール径 490 mm の 4Hi 1 スタンド圧延機 (13 パス圧延, 牛脂系圧延油を使用) ロール径 55 mm 以外の圧延機で圧延した材料については, 1.0 mm, 0.8 mm, 0.6 mm 厚みで試片を取り出し, 引き続き 0.4 mm まで追加冷延をおこなった (元厚に応じて 30 パスから 10 パスで圧延, 圧延油は, パーム油を使用)。これら圧延材は, 875°C で 60 s 塩浴で加熱して再結晶させた。Fig. 3 に r 値, リンゲと圧延比率の関係を示す。全圧延厚みのうち, 大径ロールで圧延した厚みの割合を本論文では圧延比率と

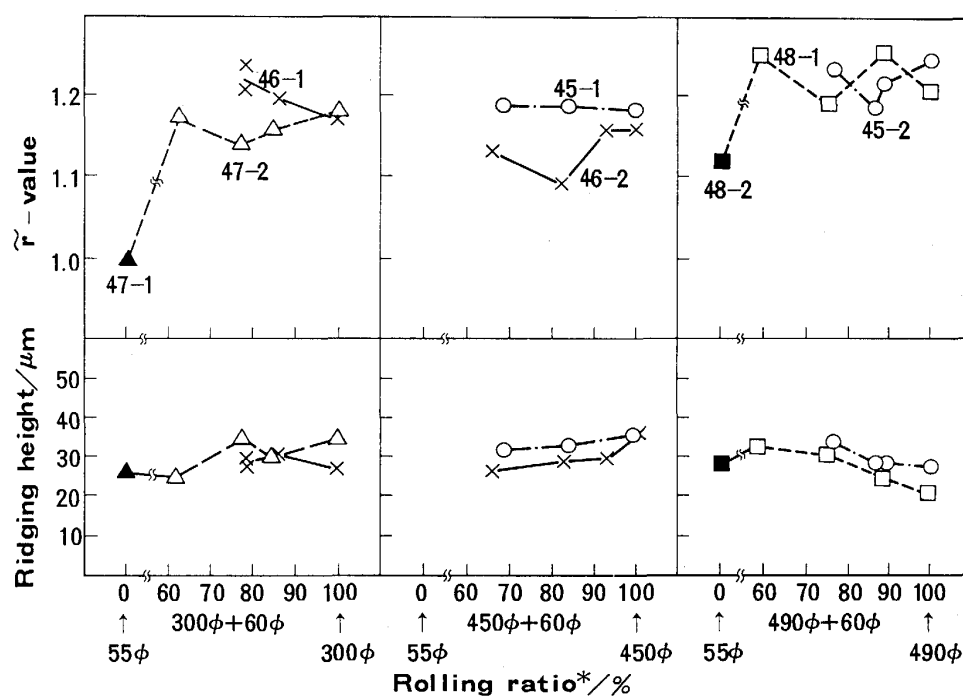
呼ぶ。図の数字は同一熱延コイルを示し, 子番号の 1, 2 は, 元の熱延板の熱延時の尻, 頭側を示す。圧延比率 60% 以上であれば, 全厚大径ロールで圧延したのと同レベルの r 値を示す。また, ロール径が, 55 mm より, 300 mm, 450 mm, 490 mm と大きいほど r 値が高い。またリジンゲと圧延条件の関係は明瞭ではない。Fig. 4 に本実験のロール径 490 mm と 60 mm で圧延した試片 (圧下率 80%) の焼鈍後の (100) 極点図を示す。大径ロールの場合 $\{111\} < 112 >$ 方位が $1/2 t$ も $1/4 t$ の位置でもよく発達しているが, 小径の場合は $1/4 t$ の位置での $\{111\} < 112 >$ 方位の発達が若干少なく, $\{110\} < 001 >$ 方位の発達が強い。

3. ロール径と光沢の関係

前述の大径ロールの実機圧延材は, 実機 Z ミルのそれと比較して圧延機の鋼板の表面光沢が著しく劣化した。この原因としてはさまざまな因子 (ロール径, ロール粗度, 圧延油, 圧延速度, 一パス当たりの圧延率, 圧延温度, 圧延時の張力) が考えられるが, ここではロール径に着目し, その他の因子はできるだけ一定にしてロール径と表面光沢の関係を調査した。

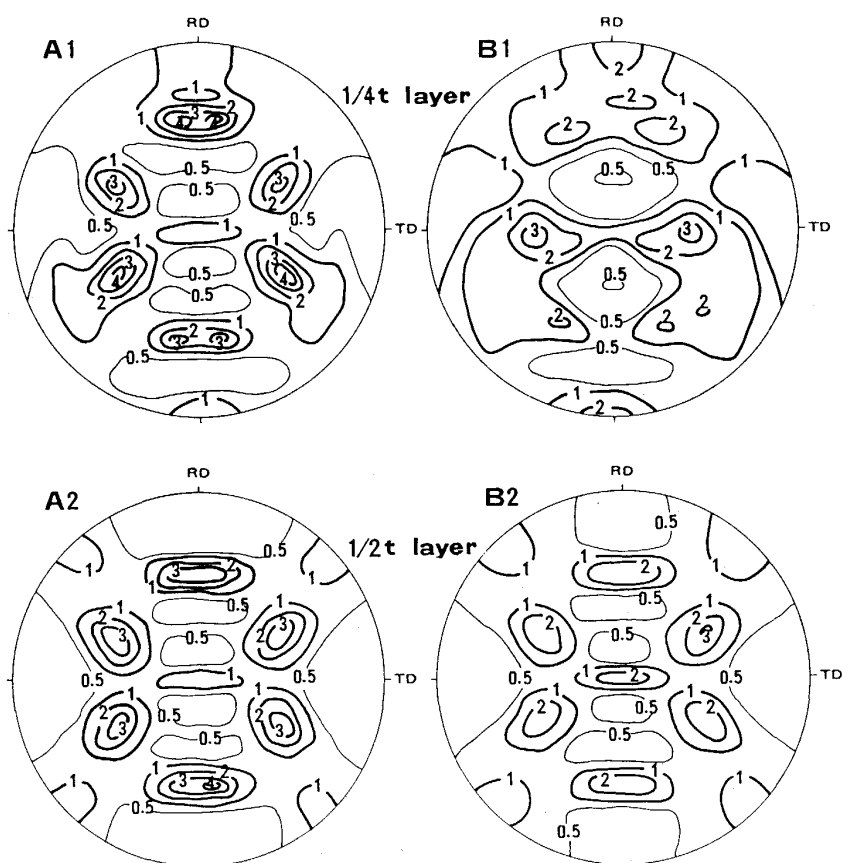
3.1 実験条件

厚さ 3 mm の熱延板 (成分は前述の r 値調査材と同一) を酸洗後, 4Hi 1 スタンドの研究室圧延機でロール径 480 mm と 70 mm の 2 条件で, 15 パスで厚さ 0.6 mm まで圧延した (冷延率 80%)。使用したロールの表面粗度は, $Ra = 0.2 \mu\text{m}$ で, 潤滑油は, パーム油を使い, 圧延速度は, 10 m/min で行った。各パスごとの圧延率



* Rolling ratio is defined as a ratio of thickness reduced by large diameter roll divided by total thickness reduced.
-1 and -2 in the figure denote the coil corresponds to the tail and top part of the same coil at the hot rolling stage respectively.

Fig. 3. Relationship between r -value ridging height and roll diameter and the rolling ratio*.



A1 : 1/4 t layer, rolled by 490 mm roll
A2 : 1/2 t layer, rolled by 60 mm roll
B1 : 1/4 t layer, rolled by 60 mm roll
B2 : 1/2 t layer, rolled by 60 mm roll

Fig. 4. (100) pole figures of cold rolled and annealed stage (80% reduction).

Table 2. Cold rolling schedule for the investigation of the effect of roll diameter, rolling process (A, B) and rolling ratio on the roughness, specular glossiness of the cold rolled surface.

Pass number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Thickness /mm	2.76	2.52	2.27	2.04	1.78	1.56	1.37	1.21	1.08	0.96	0.86	0.77	0.70	0.64	0.60
Reduction /%	8.0	8.7	9.9	10.1	12.7	12.4	12.2	11.7	10.7	11.1	10.4	10.5	9.1	8.5	6.3
Total Reduction /%	8.0	16.0	24.3	32.0	40.7	48.0	54.3	57.7	64.0	68.0	71.3	74.3	76.7	78.7	80.0
Rolling* ratio	A**	/	20	/	40	/	60	/	/	80	/	/	/	/	100
	B**	/	80	/	60	/	40	/	/	20	/	/	/	/	0

* Fraction of thickness rolled by 480mm roll divided by total thickness reduced(=2.4mm).

Roll is changed at the specific rolling ratios shown above and specimens are taken at these stages.

**Process A: rolled by 480mm roll followed by 70mm roll

**Process B: rolled by 70mm roll followed by 480mm roll

を Table 2 に示す。この場合前段を大径ロールで冷延し後段を小径ロールで冷延する場合 (A 工程) と、前段を小径ロールで冷延し後段を大径ロールで冷延する場合 (B 工程) の 2 条件について調査した。圧延比率は 0, 20, 40, 60, 100% と変化させた。ロール径を変える時点で、鋼板の表面粗度 (JIS B0601 によった) と、光沢 (JIS Z8741 の方法 4 によった) を測定した。冷延後の試片は、875°C で 60 s 塩浴で加熱して再結晶させた。再結晶板で r 値、リザングの測定を行った。リザング高さの測定は次の手順によった。

短冊型試験片 (圧延方向と平行に長さ 200 mm, 幅 25 mm) に 15% の引張歪みを付与した後、表面に発生した凹凸の深さ (リザング高さ) を測定する。すなわち試片の長手方向のほぼ中央部で、長手方向と直角に表面粗さ計 (小坂製, 半径 800 μm の触針を使用) で R_{max} モードで全幅 (25 mm) を走査し、最も大きな振幅をリザング高さとし、10 本の試片の平均値をリザング高さとした。

3.2 結果と検討

Fig. 5 に大径ロールと小径ロールでそれぞれ単独に冷延した場合の冷延率と粗度の関係を示した。図から粗度は、冷延率の増加と共に小さくなるが、小径ロールの場合が、低い圧延率で、ロールの粗度にちかづくことが分かる。しかし圧延率が大きくなるに従い、大径ロールも小径ロールも同じ粗度に収束している。Fig. 6 に大径、小径の組合せ圧延比と表面粗度の関係を示す。Fig.

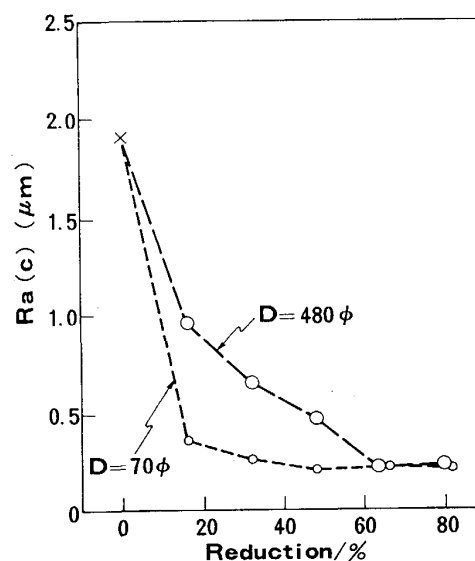
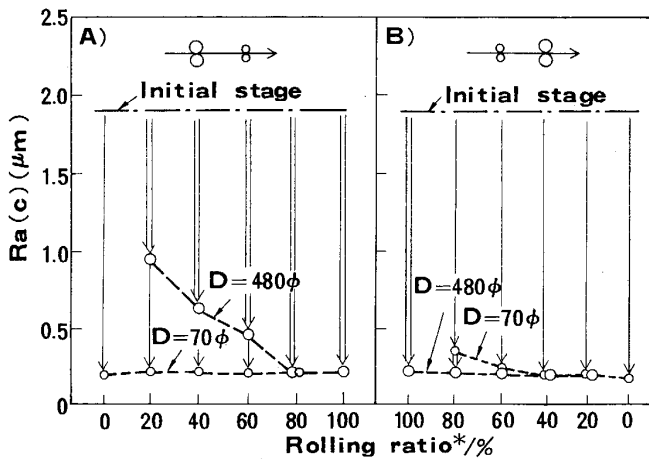


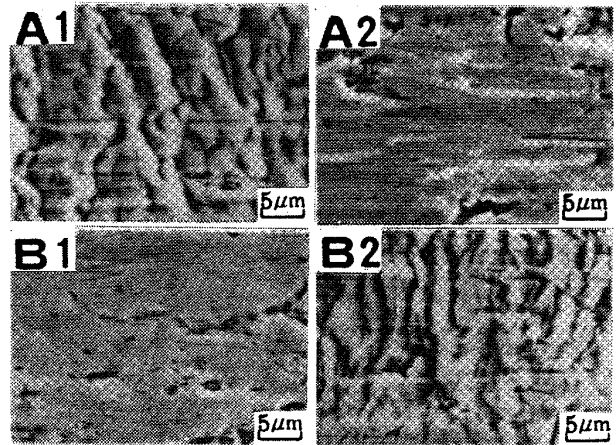
Fig. 5. Effect of roll diameter and reduction on the roughness of rolled surface.

6 の A) は、前段を大径ロール、後段を小径ロールで圧延した場合、B) は前段を小径ロール、後段を大径ロールで圧延した場合の粗度を示す。この場合大径と小径の圧延比率に関係なく、圧延後の鋼板の粗度は、最終的にはロールの粗度とほぼ同じ粗度 ($Ra = 0.2 \mu\text{m}$) になることを示している。これは、Fig. 5 に示したように冷延率が高い場合の鋼板の表面粗度のそれと一致するため組合せ冷延の影響はでなかったものと考えられる。Fig. 7 に圧延比率と表面光沢度の関係を示す。Fig. 7 の A)



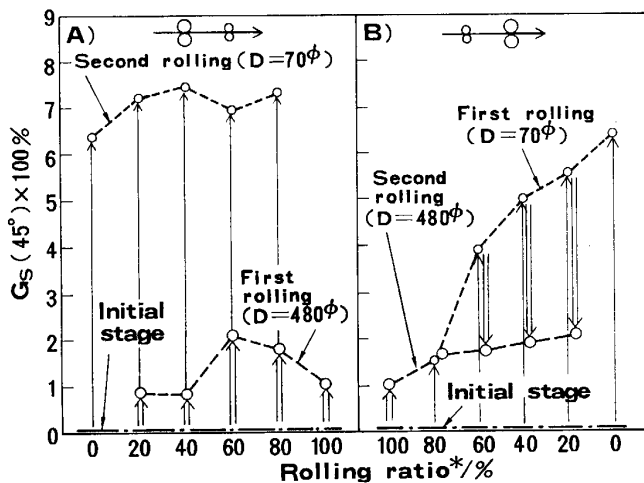
A) Process rolled by large roll followed by small roll
B) Process rolled by small roll followed by large roll
* denotes ratio of thickness rolled by large roll

Fig. 6. Effect of roll diameter and rolling ratio* on the roughness of rolled surface.



A1: Rolled by large diameter roll (80%*) A2: Subsequently rolled by large diameter roll (20%*) B1: Rolled by small diameter roll (80%*) B2: Subsequently rolled by large diameter roll (20%*) * denotes fraction of thickness rolled

Photo. 1. SEM micrographs of rolled surface.



A) Process rolled by large roll followed by small roll
B) Process rolled by small roll followed by large roll
* denotes ratio of thickness rolled by large roll

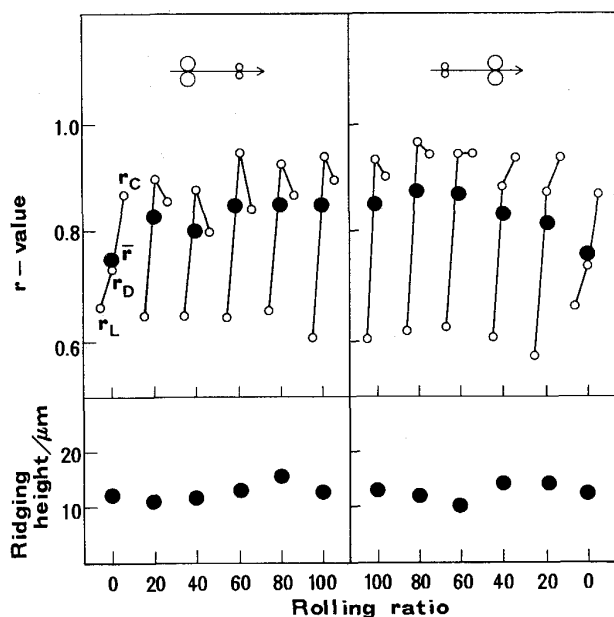
Fig. 7. Effect of roll diameter and rolling ratio* on the specular glossiness of rolled surface.

は、前段を大径ロール、後段を小径ロールで圧延した場合の光沢度を示す。表面光沢度は、後段の小径ロール圧延により著しく改善されており、全段大径ロール圧延は、光沢度が著しく劣る。後段の小径ロール冷延の圧延比を20%まで低下させても最終的な光沢は100%小径ロールで圧延した場合と同レベル以上の光沢となっている。この場合、前段の大径ロール圧延では、圧延率の増加につれてまず光沢は向上し、更に圧延率が増すと、光沢がかえって減少する。Fig. 7のB)は、前段を小径、後段を大径ロールで圧延した場合の結果を示す。この場合は、前段の小径ロール圧延後の光沢は、圧延率が増すは

ど向上する傾向が観察される。しかし最終的な光沢は後段の大径冷延で著しく劣化する。以上の結果から、組合せ冷延後の最終的な光沢は、最終パスのロール径でほぼ決まり、光沢改善効果は、大径ロールより、小径ロールが大きいと言える。Photo. 1にこれら組合せ冷延におけるそれぞれのロール径で圧延した後のSEM像を示す。図から大径ロールで圧延した表面には、圧延方向とほぼ直交した縞状の凹凸きず（以下オイルピットきずと呼ぶ）が認められるが、小径ロールで冷延した表面にはこのようなオイルピットきずはなく、滑らかな表面に仕上がっていることが分かる。このオイルピットきずが、光を乱反射させ、光沢を劣化させると考えられる。

ところでオイルピットきずは、ロールバイト中の潤滑油膜の厚さと密接な関係があり、油膜厚さが厚くなるような圧延（例えば、高粘度潤滑油による圧延、軽圧下多パス圧延、高速圧延）によって生成しやすくなる⁹⁾¹⁰⁾。水野¹¹⁾によれば、ロール径が大きくなれば油膜厚さ当量は増える。ここでいう油膜厚さ当量とは、ロールバイト中の油膜厚さを簡略的に求めるために水野により提案されたものであり、圧延速度、圧下率、ロール径、材料厚み等で決まる値である¹⁰⁾。従って今回の実験で、大径ロール冷延でオイルピットきずが発生したのは、油膜厚さが厚いことに原因したと言えよう。この考え方は、油膜厚さが厚くなるとオイルピットが発生しやすくなるという従来知見とも一致する。

小径ロール単独より、前段を大径ロール、後段を小径ロールの組合せ冷延の場合が、より光沢が増す理由は次のように考えられる。Fig. 5で示したごとく小径ロールでは、圧延の初期から表面粗度の低下が始まっている。



* denotes ratio of thickness rolled by large roll

Fig. 8. Effect of roll diameter and rolling ratio * on the r -value and ridging height.

小径ロールの場合剪断変形成分が多いため、鋼板の表面が剪断変形を受け、ロールと直接接する面積が増すためである。この場合熱延板表面に存在する凹部の周辺部にメタルフローが起き、端部が重なりを生じる確率が高まる。大径ロールでは圧縮変形が主となるのでこれら凹部は浅くなるのみで端部のメタルフローで重なり合う確率が小さい。従って前段の大径ロールでこのような凹部を浅くした後、小径ロールの剪断変形により光沢をだす方が、全段小径ロールで重なった部分（いわゆるきらきら疵と呼ばれる表面欠陥となる）が生じる場合と比べ、表面光沢が増すことになると考えられる。

Fig. 8 に本実験材の r 値、リダングを示す。 r 値の絶対値は小さいが、圧延比率 60% 以上あれば全段大径ロール冷延の場合と同レベルの r 値を示している。熱延板焼鈍をしていないにもかかわらずリダングは小さいが、冷延条件の影響はみられない。

以上の結果から、前段大径後段小径の組合せ冷延を行うことで、 r 値は全段大径と同じレベルで、表面光沢は、全段小径ロール冷延の場合より向上することが確認できた¹²⁾。

またリダングと冷延条件とは明瞭な関係がなかった。

4. 結 論

17%Cr ステンレス薄鋼板の r 値と表面光沢に及ぼす

冷延ロール径の影響について調査し次の知見を得た。

(1) 冷延ロール径が 55 mm から、300 mm、450 mm、480 mm と増加するにつれて r 値は大きくなるが、冷延率が 80% 以上の高圧下冷延の場合は、その影響が少なくなる。

(2) 大径ロールでの圧延比が、60% 以上あれば、全段大径ロールで圧延した場合と同レベルの r 値を示す。

(3) 冷延後の鋼板の光沢は、最終冷延を行うときのロール径でほぼ決まる。大径ロールで圧延した場合には、圧延方向にはほぼ直交した縞状の凹凸きず（オイルピット）が発生しこれが表面光沢を劣化させていることが判明した。

(4) 冷延率が低い場合、鋼板の表面粗度は、小径ロール冷延が、大径ロール冷延と比べロール粗度の影響を大きく受けるが、冷延率 80% 以上と高ければ、ロール径の表面粗度に及ぼす影響はなくなり、鋼板の表面粗度は、ロールの表面粗度とほぼ一致する。

(5) 前段を大径ロールで、圧延比 60% 以上の圧延を行った後、小径冷延を行うことで、大径ロール圧延並の高い r 値と、小径ロール圧延並以上の光沢がある鋼板ができることを見いだした。

(6) 冷延ロール径とリダングとは明瞭な相関が見られなかった。

終わりに本研究を進めるに当たり現場実験に協力していただいた諸氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 河野 彪, 佐柳志郎, 中島浩衛: 鉄と鋼, **68** (1982), S382
- 2) 佐柳志郎, 河野 彪, 中島浩衛, 西村秀之, 上赤義信: 鉄と鋼, **68** (1982), S1241
- 3) 河野 彪, 佐柳志郎: 鉄と鋼, **71** (1985), S651
- 4) 佐柳志郎, 早川 浩, 河野 彪, 藤田民雄: 鉄と鋼, **71** (1985), S1354
- 5) 田中康司, 川瀬尚男: 鉄と鋼, **73** (1987), S520
- 6) 橋本俊一, 薬師寺輝敏, 前田恭志: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 50
- 7) 秋田浩一, 原勢二郎, 太田国照, 上田全紀, 高橋延幸, 中島浩衛: 鉄と鋼, **69** (1983), S1378
- 8) 太田国照, 鈴木 亨, 原勢二郎, 中村和男, 井浦輝生: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 857
- 9) 中村和男, 井浦輝生: 未発表データ (1986)
- 10) 沢谷 精, 西村 弘, 南野 繁, 水沼武夫: 製鉄研究 (1977) 292, p. 1237
- 11) 水野高壘: 塑性と加工, **7** (1966), p. 383
- 12) 原勢二郎: 特願昭 57-214688