

# 調質圧延工程における板材表面粗度の創製

橋田貴雄\*・奥村英典\*<sup>2</sup>

Construction of Strip Surface Roughness in Temper Rolling Process

Takao HASHIDA and Hidenori OKUMURA

**Synopsis** : One of the purposes of the temper rolling process is to give a bright or dull roughness to a strip surface, from the point of surface gloss and forming which customers demand. Generally, the strip roughness has been shaped by means of adjusting rolling conditions, the roughness of work rolls and rolling forces at temper rolling process. The operating conditions concerning the temper mill has been learned by experience on the whole. In these circumstances, the solution of the mechanism for making strip roughness has not been fully solved yet, though many researchers have analyzed temper rolling mechanisms during normal states through experimental mills recently. Especially the transcription of the roughness from the work roll surface to the strip surface still has many unknowns. This report shows the basic mechanism to make the strip roughness with the two-stand temper rolling mill in Kudamatsu plant.

**Keywords** : temper rolling, strip roughness, two-stand mill, transcription ratio, dull finish, bright finish, shot blast texture, rolling force

## 1. 緒言

調質圧延工程の主目的の一つは製品への板粗度付与であり、顧客の板表面品質要求によりブライト仕上げからダル仕上げまで多様な表面粗度を付与している。冷間圧延工程であれば板粗度はワークロール粗度に近い値になるが、調質圧延では2.0%以下の伸び率範囲で作業することが通常であり、ワークロール粗度を完全に板へ転写させることは難しい。したがって実操業における板粗度の作りこみは、経験的にロール粗度の選定及び圧延荷重を調整することにより行われる。

最近ではミクロな視点から定常圧延中の調質圧延現象を解析する試み<sup>1~8)</sup>がなされているが、未だメカニズム解明には十分とはいえない。特にロール表面粗度の板材への転写機構については、実験用圧延機による板粗度創製に関する報告は数件報告されているものの、生産用圧延機による板粗度創製に関する報告は無いに等しい。

そこで、当社下松工場の2スタンド調質圧延機を用いて、

ダル表面仕上げとブライト表面仕上げについてワークロール表面粗度の板材への転写に関する基礎実験を行った。本報では粗度の転写挙動、およびこれらが色差、光沢度に代表される板表面特性に及ぼす影響について報告する。

## 2. 調質圧延工程の作業分類

調質圧延機では、板の表面仕上げがダルとブライトに大別され、2スタンド調質圧延機では#1スタンド及び#2スタンドのワークロール（以下、WR）表面仕上げの組み合わせにより作業モードが4つに大別される（Table 1）。また調質圧延液の使用有無によりドライ作業とウエット作業がある。本報では、D/D、B/D、D/Bの3つの作業を対象とした。

Table 1 Temper rolling modes

Strip surface	Work roll surface		Rolling mode
	Stand #1	Stand #2	
Dull	Dull	Dull	D/D
	Bright	Dull	B/D
Bright	Dull	Bright	D/B
	Bright	Bright	B/B

\* 下松工場 製板部 係長

\*<sup>2</sup> 下松工場 生産技術部 グループリーダー

### 3. 板表面品質の評価方法

#### 3. 1 評価方法

板粗度は、中心線平均粗さRa、表面写真、二次元及び三次元表面パターンにより評価した。また、色差(L値)及び光沢度(20°)を測定し板粗度変化による影響を確認した。

#### 3. 2 板粗度の転写率の定義

転写率を下式で定義する。

$$\text{転写率} = \frac{\text{(圧延後\#2スタンド出側板粗度, } \mu\text{mRa)}}{\text{(}\#2\text{スタンドWR表面粗度, } \mu\text{mRa)}}$$

### 4. 実機試験条件

#### 4. 1 調質圧延機仕様

試験に使用した生産用調質圧延機(4Hi-2スタンド)の仕様をTable 2に示す。

Table 2 Main specifications of temper mill

Mill type	4Hi-2Stand	
Line speed	Max.1,700mpm	
Strip size	Thickness	0.10-0.80mm
	Width	457-1,067mm
	Weight	Max.18,000kg
Roll size	Stand #1	WR φ 460-534×1,219L BUR φ 1,219-1,351×1,168L
	Stand #2	WR φ 460-585×1,219L BUR φ 1,219-1,351×1,168L
Screw down device	Electric screw	
Rolling force	Max.12,000kN	

#### 4. 2 供試材

供試材の特性をTable 3、表面性状(板粗度チャート、顕微鏡写真)をFig. 1に示す。供試材はM1、M2、M3の3コイルである。母材表面粗度はダル仕上げ材とブライト仕上げ材の2種類を用いた。

Table 3 Main specifications of coils

Material	M1	M2	M3
Annealing	Non-annealed	Non-annealed	Annealed
Size	0.15t×700w coil	0.25t×625w coil	0.25t×1041w coil
Yield point	521N/mm <sup>2</sup>	556N/mm <sup>2</sup>	414N/mm <sup>2</sup>
HR-30T	72	73	57
Surface (Roughness)	Dull finish (0.54/0.50μm)	Bright finish (0.16/0.14μm)	Bright finish (0.34/0.29μm)

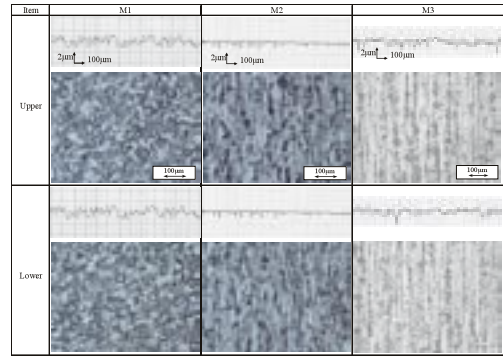


Fig. 1 Photos and roughness charts of materials

#### 4. 3 その他の作業条件

WR表面はダル表面とブライト表面の2種類とし、ダル表面の加工はショットブラスト加工(SBT)とした。WR粗度はTable 4に示す。またドライ作業及びウエット作業の比較も実施したが、ウエット作業では上下のロールバイト面に濃度5%に希釈した調質圧延液(動粘度0.92cSt, 25°C)を常温で供給した。伸び率は1.5%程度とし、圧延荷重を変化させたことによる伸び率変化は#1-2スタンド間張力により伸び率1.5%程度になるように調整した。圧延速度は30mpmである。

### 5. 試験結果

#### 5. 1 ダル仕上げ作業の板粗度創製

試験条件をTable 4に示す。圧延荷重、#1スタンドWR粗度、#2スタンド調質液有無が板粗度に及ぼす影響について、以下に示す試験条件の比較により調査した。

- (1)圧延荷重の影響 : 試験条件 No.A 1
- (2)#1スタンドWR粗度の影響 : 試験条件 No.A 1, A 2
- (3)#2スタンド調質液塗布の影響: 試験条件 No.B 1, B 2

Table 4 Conditions for temper rolling for dull finish products

Mode (Material)	WR condition		Lubrication		Test no.
	Stand #1	Stand #2	Stand #1	Stand #2	
D/D (M1)	φ 525mm Dull(SB) 1.09μm	φ 534mm Dull(SB) 1.08μm	Dry	Dry	A1
B/D (M1)	φ 522mm Bright 0.07μm	φ 534mm Dull(SB) 1.08μm	Dry	Dry	A2
D/D (M2)	φ 519mm Dull(SB) 0.74μm	φ 518mm Dull(SB) 0.95μm	Dry	Dry	B1
			Dry	Wet	B2

SB : Shot blast texture

##### 5. 1. 1 圧延荷重の影響

2スタンド圧延機による板粗度の付与状態をFig. 2に示す。試験条件をTable 4中のA1 (D/D)に示す。圧延荷重は#1及び#2スタンド共に8,000kN (11.4kN/mm)である。#1及び#2スタンドのWR粗度がほぼ同値であり、

#1 スタンドにて板粗度が付与され#2 スタンド出側でもほぼ同等の板粗度が保持される。ただ、#2 スタンド出側では#1 スタンド出側と比較し、粗度のばらつきが均一化される傾向がみられる (Fig. 3)。

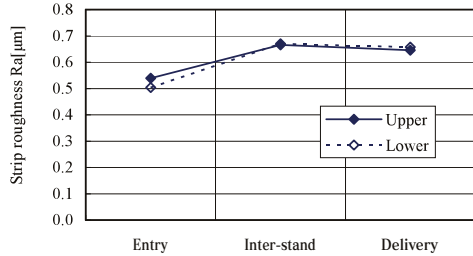


Fig. 2 Change of strip roughness in two-stand temper mill (D / D mode)

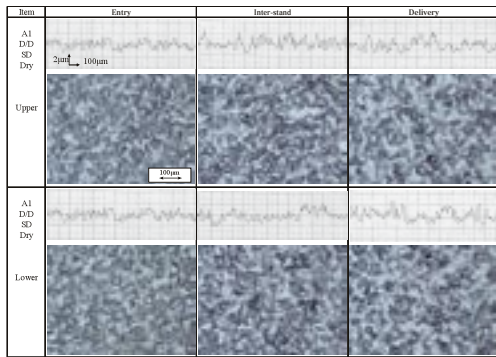


Fig. 3 Photos and roughness charts of materials

次に、両スタンドの圧延荷重の影響度を明確にするため、下記の3条件の圧延荷重変化を設定し板粗度の変化をみた。

- ・条件(a)：#1 スタンド荷重のみ変化(#2 = 8,000kN固定)
- ・条件(b)：#2 スタンド荷重のみ変化(#1 = 8,000kN固定)
- ・条件(c)：#1, 2 スタンドを同時で変化(#1, #2 同荷重)

Fig. 4 に圧延荷重と#2 スタンド出側板粗度の関係を示す。圧延荷重条件は上記(a), (b), (c)の3条件とした。これらの圧延荷重条件に関する(a)~(c)は、以降の節においても同様の表記とする。#2 スタンド出側の板粗度は#2 スタンド圧延荷重との相関が支配的であり#1 スタンド圧延荷重の影響は小さい。一旦#1 スタンドで付与された粗度が、#2 スタンドの圧延条件にて大きく変化する (Fig. 4 条件(b))。また、#2 スタンドWR粗度が素材の初期板粗度より大きい場合であっても、低荷重条件では初期板粗度より小さい板粗度が創製可能である。同様にFig. 5 に示す転写率も#2 スタンド圧延荷重との相関が支配的であることを示している。

Fig. 6, Fig. 7 にL値及び光沢度と板粗度の関係を示す。高圧延荷重作業になるほど板粗度が高くなり、高L値かつ低光沢度の板表面になる傾向がみられる。

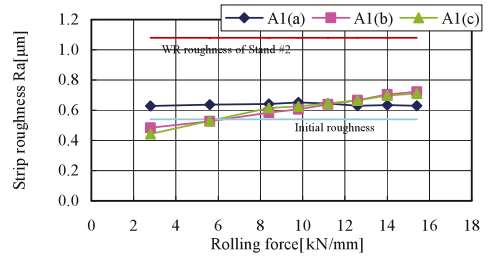


Fig. 4 Relation between rolling force and strip roughness behind stand #2

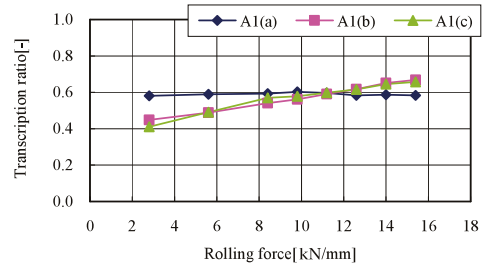


Fig. 5 Relation between rolling force and transcription ratio

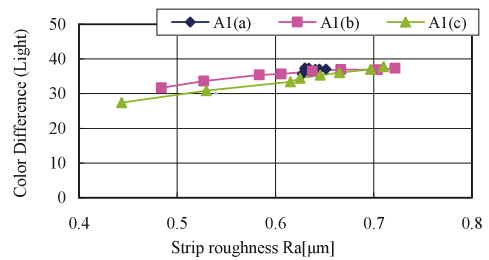


Fig. 6 Relation between strip roughness (Ra) and color difference (light)

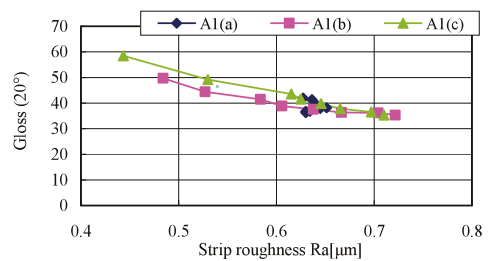


Fig. 7 Relation between strip roughness (Ra) and gloss (20°)

### 5. 1. 2 #1 スタンドWR粗度の影響

#1 スタンドWRがブライトロールとダルロールの場合について比較を行った。Table 4 中のA1 (D / D), A2 (B / D) に試験条件を示す。圧延荷重は5. 1. 1 と同一条件の8,000kN (11.4kN / mm) とした。板粗度の付与状態をFig. 8 に示すが、#1 スタンドにブライトロールを使用すると#1 スタンドで低粗度化された後に#2 スタンドにてダル粗度化される。#1, #2 スタンドにダルWRを使用した場合と比較すると仕上げ板粗度は若干低めとなる。顕微鏡写真をFig. 9 に示す。

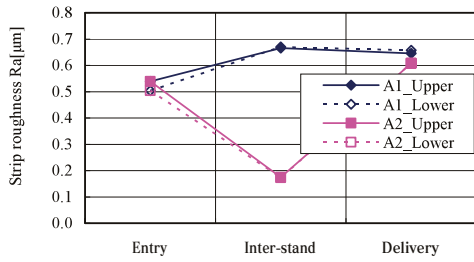


Fig. 8 Comparison of strip roughness between D/D and B/D mode in two-stand temper mill

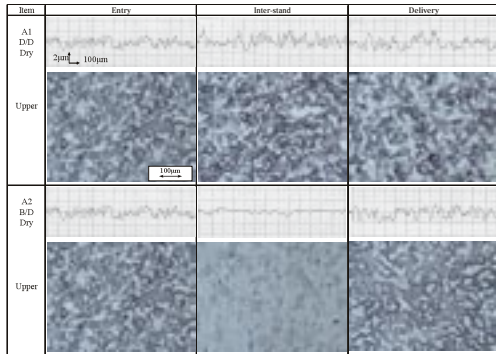


Fig. 9 Photos and roughness charts of strips

次に#2スタンドの圧延荷重を変化させた場合の板表面特性への影響をFig. 10~Fig. 13に示す。圧延荷重条件は(b)条件(#1=8,000kN, 11.4kN/mm固定)である。条件A2(B/D)の#2スタンド出側板粗度は#1スタンドにてブライト表面化されるために、条件A1(D/D)よりも低粗度となる(Fig. 10)。また#2スタンドの荷重の増大に伴い両者の差は小さくなる。L値および光沢度をFig. 12, Fig. 13に示すが、同一板粗度(Ra)であっても条件A2(B/D)の方が光沢度が高くなる傾向がみられる。

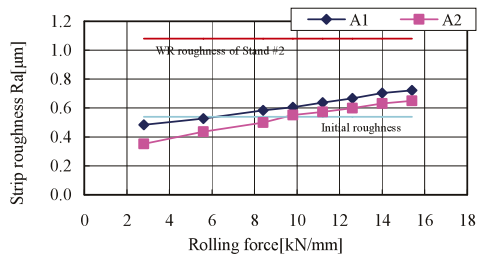


Fig. 10 Relation between rolling force and strip roughness after stand #2

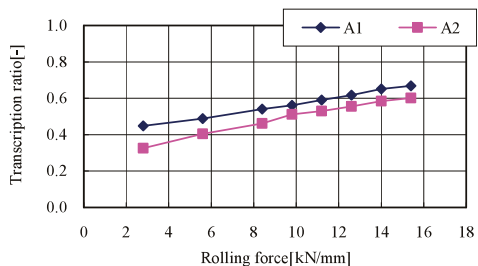


Fig. 11 Relation between rolling force and transcription ratio

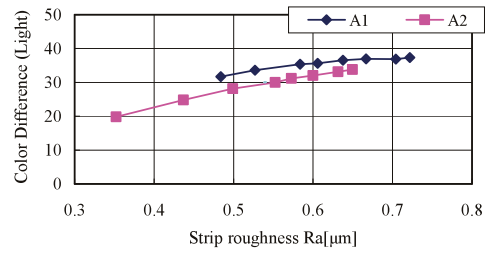


Fig. 12 Relation between strip roughness (Ra) and color difference (light)

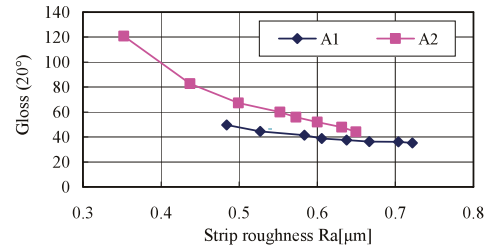


Fig. 13 Relation between strip roughness (Ra) and gloss (20°)

### 5. 1. 3 #2スタンド調質液の影響

#1, #2スタンドにダルWRを使用した場合(D/Dモード)について、#2スタンドでの調質液の影響を示す。Table 4中のB1(ドライ作業), B2(#2ウエット作業)に試験条件を示す。供試材はブライト仕上げ材(M2)を用いた。Fig. 14に#1及び#2スタンド圧延荷重が8,000kN(12.8kN/mm)における各スタンド通過後の板粗度推移を示す。#1スタンドが同一条件のため#1スタンド出側の板粗度はほぼ同値の板粗度が転写されているが、#2スタンドウエット作業(B2)では、転写率が下がり、#2スタンドWR粗度が高いにもかかわらず#1出側より板粗度が小さくなる。Fig. 15に板表面の顕微鏡写真を示すがウエット作業ではダル粗度の転写が劣り、#1スタンド出側粗度の影響が残っている。

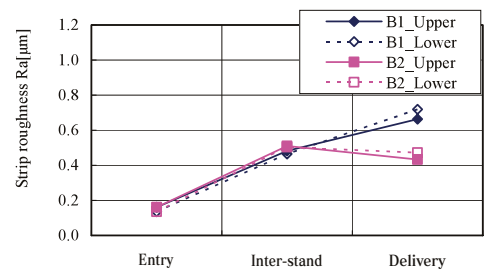


Fig. 14 Comparison of strip roughness between dry and wet operation for stand #2 in two-stand temper mill (D/D mode)

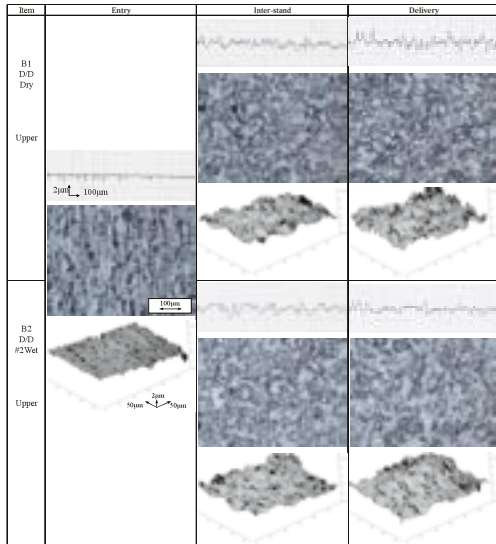


Fig. 15 Photos and roughness charts of strips

また圧延荷重を変化させた場合の挙動をFig. 16, Fig. 17に示す。ウエット作業条件下の#2スタンドの圧延荷重を増減させても板粗度転写に与える影響が小さいことがわかる。ウエット作業においても板表面の光沢度は板粗度(Ra)との相関が強いようである (Fig. 19)。L値については光沢度ほどの顕著な傾向はみられない (Fig. 18)。

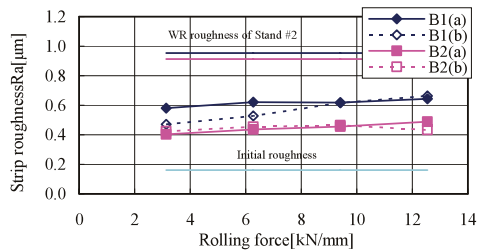


Fig. 16 Relation between rolling force and strip roughness after stand #2

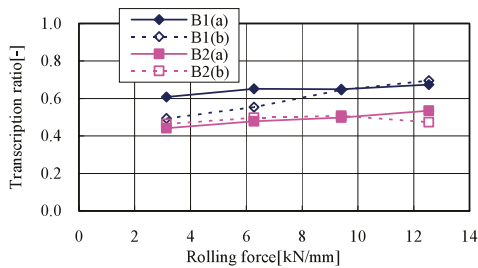


Fig. 17 Relation between rolling force and transcription ratio

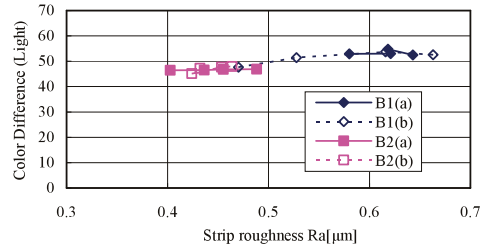


Fig. 18 Relation between strip roughness (Ra) and color difference (light)

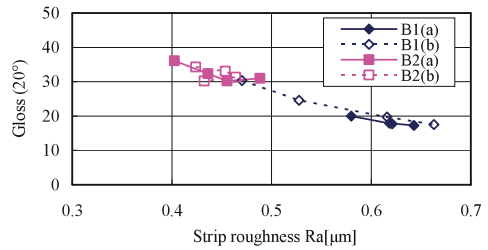


Fig. 19 Relation between strip roughness (Ra) and gloss (20°)

## 5. 2 ブライト仕上げ作業の板粗度創製

次に#2スタンドにブライト仕上げWRを使用した場合についてその結果を示す。圧延荷重、#1スタンドWR粗度、調質液塗布が板粗度に及ぼす影響を以下に示す試験条件の比較により調査した。試験条件をTable 5に示す。

- (1)圧延荷重の影響 : 試験条件No.C 2
- (2)#1スタンドWR粗度の影響 : 試験条件No.C 1, C 2
- (3)調質液塗布の影響 : 試験条件No.D 1, D 2

Table 5 Conditions of temper rolling for bright finish products

Mode (Material)	WR condition		Lubrication		Test no
	Stand #1	Stand #2	Stand #1	Stand #2	
D/B (M1)	φ 522mm Dull(SB) 1.18µm	φ 582mm Bright 0.17µm	Dry	Dry	C1
	φ 522mm Dull(SB) 2.20µm	φ 582mm Bright 0.17µm	Dry	Dry	C2
D/B (M3)	φ 522mm Dull(SB) 1.18µm	φ 582mm Bright 0.17µm	Dry	Dry	D1
			Dry	Wet	D2

### 5. 2. 1 圧延荷重の影響

2スタンド圧延機による板粗度の付与状態をFig. 20に示す。Table 5中のC 2 (D/B)に試験条件を示す。圧延荷重は#1及び#2スタンド共に8,000kN (11.4kN/mm)である。#1スタンドWRがダル仕上げのために一旦#1スタンドにて高い板粗度が付与されるが、#2スタンド通過後は#2スタンドのブライトWRにより低粗度化される。また#2スタンド出側の板表面には砥石仕上げの研磨目が転写される (Fig. 21)。一般に実生産の場合では、この作業モードは素材の表面欠点を#1スタンドのダルWRで均一化するため有効とされる。

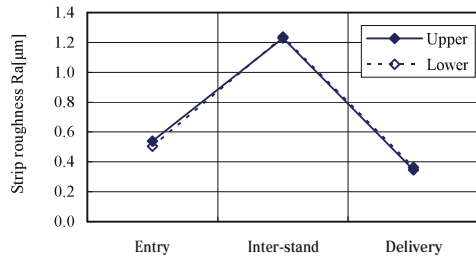


Fig. 20 Change of strip roughness in two-stand temper mill (D/B mode)

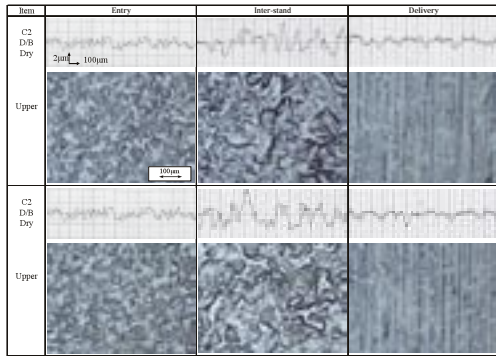


Fig. 21 Photos and roughness charts of strips

また、ブライト仕上げにおける圧延荷重に対する基本特性を把握するため、#2スタンド出側の板粗度Ra、転写率、L値及び光沢度と圧延荷重の関係をFig. 22~25に示す。板粗度は#1スタンドの圧延荷重に比例して増加し、#2スタンド圧延荷重に反比例するが、#2スタンドの影響が大きく両スタンドともに圧延荷重を高くすると#2スタンドWR粗度に近づく (Fig. 22)。

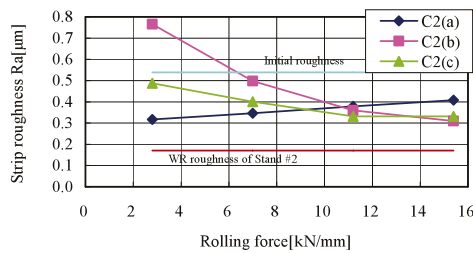


Fig. 22 Relation between rolling force and strip roughness after stand #2

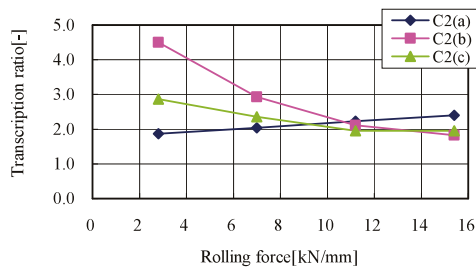


Fig. 23 Relation between rolling force and transcription ratio

#2スタンドの圧延荷重を高くすると板粗度は低くなると共にブライトWRの研磨目が転写され、L値が小さくなり (Fig. 24)、かつ光沢度が高くなる (Fig. 25)。

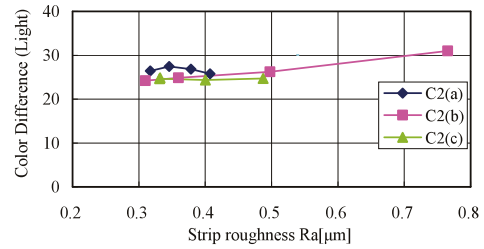


Fig. 24 Relation between strip roughness (Ra) and color difference (light)

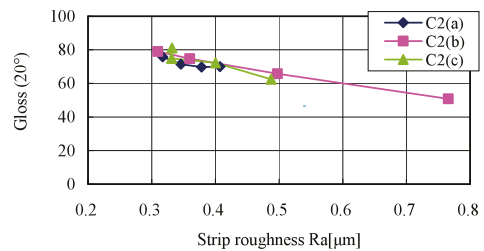


Fig. 25 Relation between strip roughness (Ra) and gloss (20°)

### 5. 2. 2 #1スタンドWR粗度の影響

#1スタンドWR (SB) の粗度の大小が#2スタンド出側板粗度に及ぼす影響をみるため、2水準の粗度を有するWRを使用した場合を比較した。Table 5中のC1 (1.18μm Ra), C2 (2.20μmRa) に試験条件を示す。圧延荷重は#1及び#2スタンド共に8,000kN (11.4kN/mm) である。各スタンド通過後の板粗度推移をFig. 26に示す。#1スタンドWR粗度の影響により#1スタンド出側板粗度は大きく違うものの、その差は#2スタンド出側では縮小する。逆に#2スタンドにてブライト仕上げにする場合も、#1スタンドのダルWR粗度の影響が残るともいえる。板表面の顕微鏡写真をFig. 27に示すが#1スタンドで付与されたダル粗度が残存していることが確認できる。

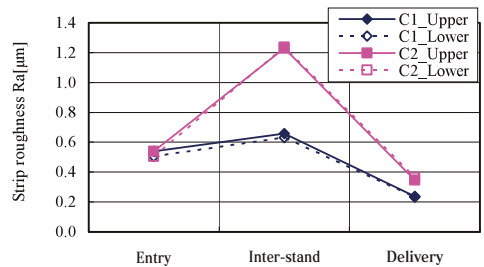


Fig. 26 Influence of roughness of work roll for stand #1 on strip roughness in two-stand temper mill (D/B mode)

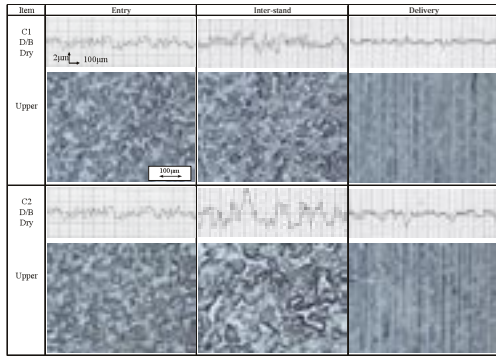


Fig. 27 Photos and roughness charts of strips

また、圧延荷重が#2スタンド出側の板粗度Ra、転写率、L値及び光沢度に及ぼす影響をFig. 28~31に示す。Fig. 31中、同一板粗度であっても光沢度に差が生じる現象が現れているが、#1スタンドで付与されたダル粗度の残存度が違うためであり、条件C2のほうが条件C1に比較して#2スタンドブライtrolールでの粗度低減効果が大きく寄与しているためと考えられる。

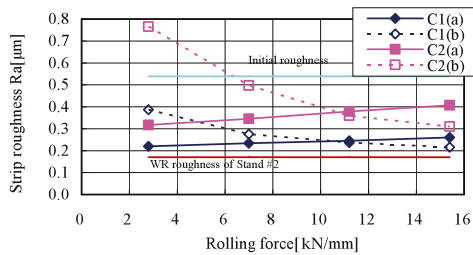


Fig. 28 Relation between rolling force and strip roughness behind stand #2

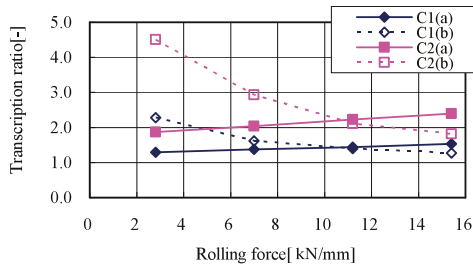


Fig. 29 Relation between rolling force and transcription ratio

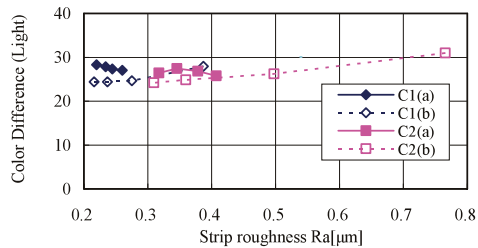


Fig. 30 Relation between strip roughness (Ra) and color difference (light)

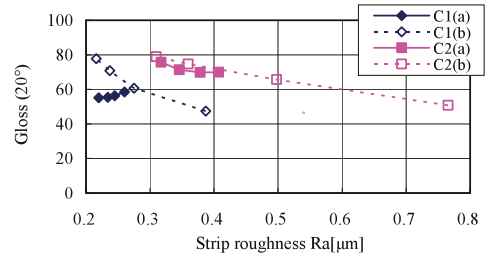


Fig. 31 Relation between strip roughness (Ra) and gloss (20°)

### 5. 2. 3 調質液塗布の影響

前節まではドライ作業時について述べたが、ここではウエット作業時の板粗度の付与状態についてドライ作業との比較を行った。Table 5のD1 (ドライ作業)、D2 (#2スタンドのみウエット作業)に試験条件を示す。供試材はブライ仕上げ材 (M3)を用いた。圧延前後の板粗度Ra、L値及び光沢度の関係をFig. 32~34に示す。条件D2下では#2スタンド (ウエット) のブライWRによるダル粗度消去効果が低下し、条件D1に比較して#1スタンドのダル粗度の影響が残る。

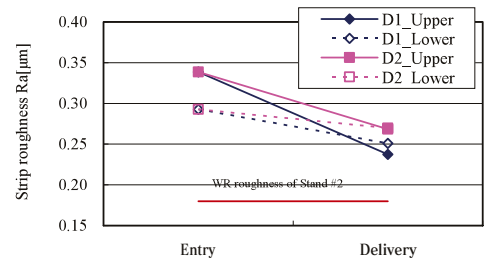


Fig. 32 Comparison of strip roughness between dry operation and wet operation for stand #2

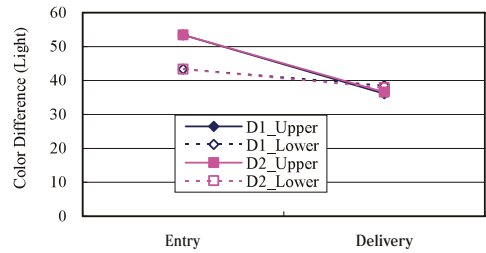


Fig. 33 Comparison of color difference (light) between dry operation and wet operation for stand #2

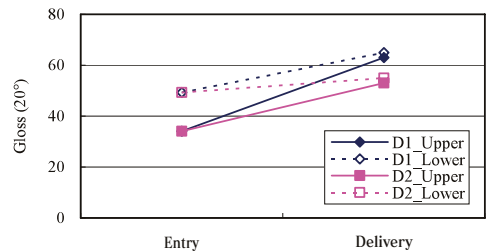


Fig. 34 Comparison of gloss (20°) between dry operation and wet operation for stand #2

## 6. 結 言

生産用4Hi-2スタンド調質圧延機を使用し、ダル仕上げ及びブライツ仕上げ作業における板粗度創製の基礎特性を調査し以下の知見を得た。

- (1)板粗度はWR粗度および圧延荷重の影響を受けるが、ダル仕上げ及びブライツ仕上げ共に#2スタンドの影響が支配的である。この傾向はダル仕上げ作業が顕著であり、ブライツ仕上げ作業になると#1スタンドダル圧延の影響も残存する現象が生じる。
- (2)ウエット作業ではWR粗度の板粗度への影響度が小さくなり、ウエットスタンドの入側の板粗度の影響を受け易くなる。
- (3)板粗度 (Ra値) と板表面のL値および光沢度の間には相関がみられ、高粗度材であるほどL値が高くなり光沢度が小さくなる傾向があるようである。但し、同一の板粗度 (Ra値) であっても、ダル粗度残存などとして現れるブライツ圧延とダル圧延の影響度の大小によってL値および光沢度が異なってくる。

### 引 用 文 献

- 1) 小森：CAMP-ISIJ, 18 (2005), 1221
- 2) 吉田ら：CAMP-ISIJ, 18 (2005), 1219
- 3) 鎧田ら：CAMP-ISIJ, 17 (2004), 1001
- 4) 松本：CAMP-ISIJ, 18 (2005), 1218
- 5) 鎧田ら：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 353
- 6) 長瀬ら：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 354
- 7) 阿高ら：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 356
- 8) 湯川ら：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 358