



調質圧延時の表面粗さ転写に与える 水系調質圧延液の効果

長瀬 直樹*・志渡 誠一*・鏑田 征雄*²

The Effect of Soluble Lubricant on Surface Imprinting in Temper Rolling by 4Hi Rolling Mill

Naoki NAGASE, Seiichi SHIDO and Ikuo YARITA

Synopsis : The surface roughness of carbon steel sheets is controlled by dull roll surface imprinting in temper rolling. In most cases, a dry condition or a lubricant is applied as a lubrication state in temper rolling. However, the oil film of the lubricant and its lubricating ability of lubricant have not been clarified. In this study, the effect of lubricant on surface imprinting was investigated in temper rolling as three lubrication states. Temper rolling experiments for as-annealed low carbon steel strips and as-annealed high carbon steel strips were conducted in the range of 1 to 3% in reduction, using the 4Hi rolling mill. Non lubricant (dry condition), water soluble lubricant and mineral oil were applied as lubrication states. A shot dull roll and an electric-discharged dull roll were employed. Surface microstructures of temper rolled strips were observed directly, as well as surface textures in terms of mean roughness (R_a), three dimensional textures, cross section profiles, material ratio curves and probability densities applied to compare the lubrication states. As a result, for the high carbon steel, the water soluble lubricant leads to better surface imprinting than the dry condition and the mineral oil. Mineral oil shows the lowest surface imprinting. For the low carbon steel, the water soluble lubricant and dry conditions lead to better surface imprinting than the mineral oil.

Key words : temper rolling; dull roll; surface texture; rolling force; imprinting; lubrication; soluble lubricant; mineral oil; material ratio curve; probability density.

1. 緒言

調質圧延における調質圧延油剤の役割は、ロールの洗浄、冷却、摩耗粉の鋼板への凝着防止、圧延後の鋼板のさび止めなどである。調質圧延油剤は、調質圧延時の表面転写に対しても影響を及ぼす。そのため、過去から様々な評価がなされてきたが、いまだ明確になっていない¹⁻⁶⁾。その理由として、調質圧延油剤の潤滑性の効果、と高圧粘性による油膜効果とが区別できていないことが挙げられる。

そこで本報告では、4段コイル圧延機を用いて、高圧粘性を殆ど有しない水系調質圧延液、高圧粘性を有する鉱油およびドライの3潤滑条件で調質圧延を行った。鋼板の表面は様々な粗さデータで整理して、表面転写を評価した⁷⁻¹⁴⁾。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は、0.65 wt% C、板厚 0.62 mm、幅 50 mm、長さ 250 m、上降伏点 454 MPa、下降伏点 427 MPa、降伏点伸び 4% の高炭素鋼板焼鈍材コイルと、0.08 wt% C、板厚

0.61 mm、幅 50 mm、長さ 250 m、上降伏点 328 MPa、下降伏点 320 MPa、降伏点伸び 8% の低炭素鋼板焼鈍材コイルを用いた。両鋼板とも表面粗さは R_a で約 $0.2 \mu\text{m}$ で、硬さは高炭素鋼板が $Hv_{(10)}$ で 158、低炭素鋼板が $Hv_{(10)}$ で 95 であった。いずれも入手前にさび止め油が塗布されていたので、強アルカリ脱脂液で脱脂した後、調質圧延に用いた。

2.2 潤滑条件

Table 1 に示すように、潤滑条件は無潤滑 (ドライ)、動粘度 $0.69 \text{ mm}^2/\text{s}$ の水系調質圧延液及び動粘度 $4.208 \text{ mm}^2/\text{s}$ の鉱油の3条件で行なった。

2.3 圧下率の測定

圧延前の鋼板表面に 300 mm 間隔で刻印を入れて圧延した。全コイル長さについて、コイル 10 m 毎に刻印間距離を測定した。その伸び率から圧下率を算出した。

2.4 調質圧延実験条件

Table 2 に4段圧延機の仕様と調質圧延条件を示す。ワークロール径は $\phi 131 \sim 133 \text{ mm}$ である。表面は、放電ダル仕上げおよびショットダル仕上げを施し、表面粗さは R_a でそれぞれ $2.1 \sim 2.3 \mu\text{m}$ と $1.2 \sim 1.4 \mu\text{m}$ に調整した。圧延初期の摩耗を考慮し、80 m 圧延したワークロールを表面転写の評価に用いた。バックアップロール径は $\phi 200 \text{ mm}$ で、

平成 20 年 1 月 31 日受付 平成 20 年 4 月 25 日受理 (Received on Jan. 31, 2008; Accepted on Apr. 25, 2008)

* 出光興産 (株) 営業研究所 (Lubricants Research Laboratory, Idemitsu Kosan Co., Ltd., 24-4 Anesakikaigan Ichihara 299-0107)

* 2 千葉工業大学機械サイエンス学科 (Department of Mechanical Science & Engineering, Chiba Institute of Technology)

表面粗さRaで0.25 μm に調整した。放電加工により表面仕上げしたロール（以後放電ダルロールと記す）は、ショットブラストにより表面仕上げしたロール（以後ショットダルロールと記す）やバックアップロールに比べ、若干硬度が低くなっている。圧延速度は50 m/minに設定した。この圧延速度は、実機のワークロール径を $\phi 550\text{ mm}$ として、200 m/minの圧延速度で圧延した時と同じひずみ速度になる。圧下率は1%と3%を目標に圧延した。張力は実機相当として入り側32.4 MPa、出側47.1 MPaを中心に行った。加えて張力の影響を評価するため、安定した圧延が可能な最小の値まで張力を下げた入り側と出側がともに9.8 MPaでの実験、更に実機相当以上の入り側47.1 MPa、出側58.8 MPaでの実験も行なった。

2.5 ロールと鋼板の表面転写評価

ロールと鋼板の表面は、レーザー顕微鏡による直接観察を中心に、SEM観察も一部行なった。ロールにけがき線を描き、鋼板に転写された箇所を特定し、ロールとその表面形状が転写された鋼板の同一箇所を観察した。顕微鏡画像は、0.35 mm $\times$ 0.30 mmの範囲についてステージをZ軸方

Table 1. Properties of test lubricants.

	Dry	Water soluble Lubricant	Mineral oil
Chemical component	without using any lubricants	1% of Carboxylic acid with alkanol- amine 99% of Water	100% of Paraffinic hydrocarbon
Viscosity @40°C (mm ² /s)	—	0.690	4.208
Friction coefficient of Pendulum test (Soda method) @35°C	—	0.163	0.274
Friction coefficient of Sliding test @35°C	0.479	0.162	0.217

Table 2. Rolling mill specifications and temper rolling conditions in laboratory mill.

Mill type		4-high
Work roll	Roll material	SUJ2
	Diameter (mm)	131~133
	Hardness Hs	Electric-discharged roll: 83 Shot dull roll: 89
	Roughness Ra (μm)	Electric-discharged roll: 2.1~2.3 Shot dull roll: 1.2~1.4
Back up roll	Roll material	SUJ2
	Diameter (mm)	200
	Hardness Hs	85
	Roughness Ra (μm)	0.25
Roll speed	① Normal (m/min)	50
	② Low (m/min)	7.5
Reduction	(%)	1~4
Tension	① Low (MPa)	Entry9.8, Delivery9.8
	② Normal (MPa)	Entry32.4, Delivery47.1
	③ High (MPa)	Entry47.1, Delivery58.8
Lubricant temperature	(°C)	35

向（粗さ方向）へ移動させながら焦点映像を記憶し、三次元表面粗さデータに変換して用いた。得られたデータをもとに、表面転写は算術平均粗さRa、三次元画像、断面プロファイル、負荷曲線および確率密度関数で整理した。負荷曲線の横軸は負荷長さ率Rmr(c)で、各粗さ高さにおける評価長さと粗さ曲線要素の比のことである。本報告では、縦軸は平均高さRcの値をゼロにして、プラス方向に最大山高さRp、マイナス方向に最大谷深さRvを示している。

2.6 転写率

転写率は次式で求めた。

$$\text{転写率} = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{圧延後鋼板の表面粗さRa} \\ - \text{圧延前鋼板の表面粗さRa} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{l} \text{80m圧延後ロールの表面粗さRa} \\ - \text{圧延前鋼板の表面粗さRa} \end{array} \right)} \times 100 (\%)$$

3. 実験結果

3.1 高炭素鋼板の表面転写に対する潤滑剤の効果

3.1.1 放電ダルロールでの結果

3潤滑条件により、放電ダルロールで高炭素鋼板を圧延した。潤滑条件は、ドライ、水系調質圧延液および鉱油である。Fig. 1に圧下率と圧延荷重の関係を示す。いずれの潤滑条件でも、圧延荷重は圧下率に比例して増大している。潤滑条件による差は認められない。Fig. 2に圧下率と転写率の関係を示す。圧下率1%では、潤滑条件による転写率

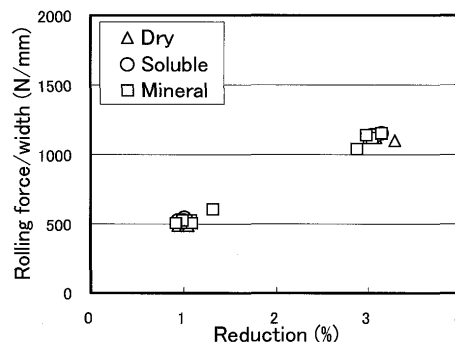


Fig. 1. Comparison of rolling force/width between several rolling conditions (ED roll, high carbon steel sheet).

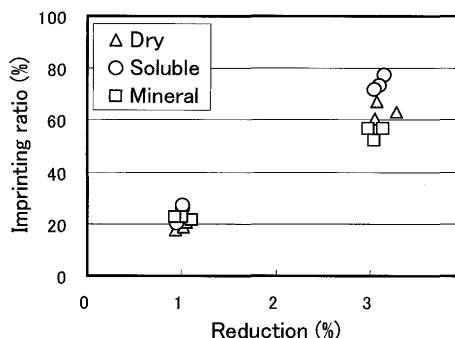


Fig. 2. Comparison of imprinting ratio between several rolling conditions (ED roll, high carbon steel sheet).

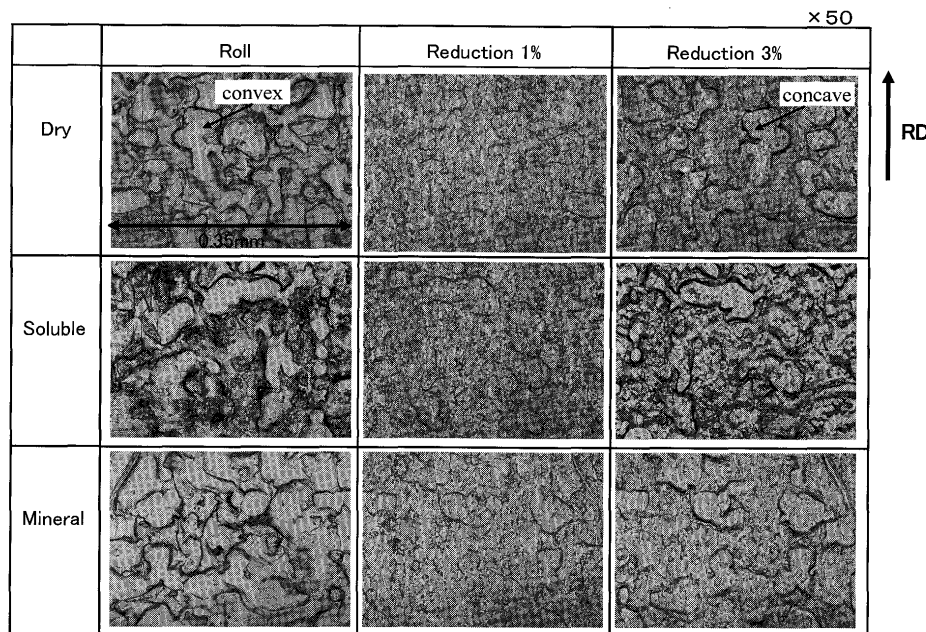


Fig. 3. Microscope images of high carbon steel sheet surfaces after temper rolling with ED roll.

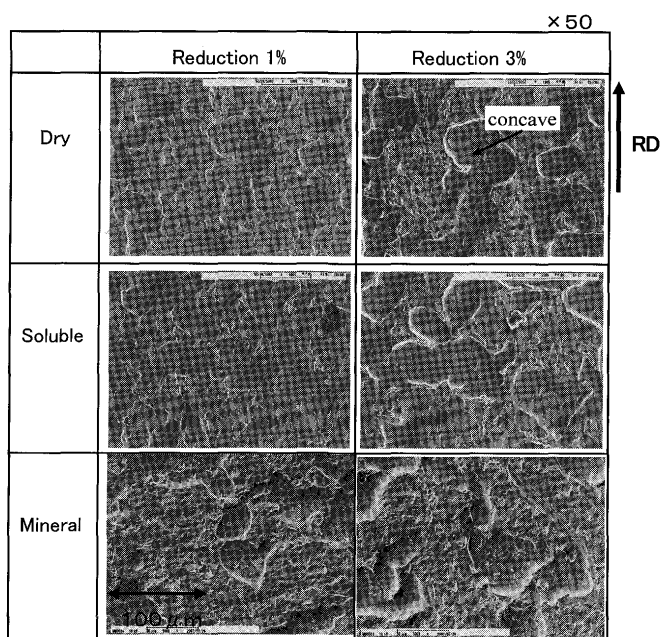


Fig. 4. SEM images of high carbon steel sheet surfaces after temper rolling with ED roll.

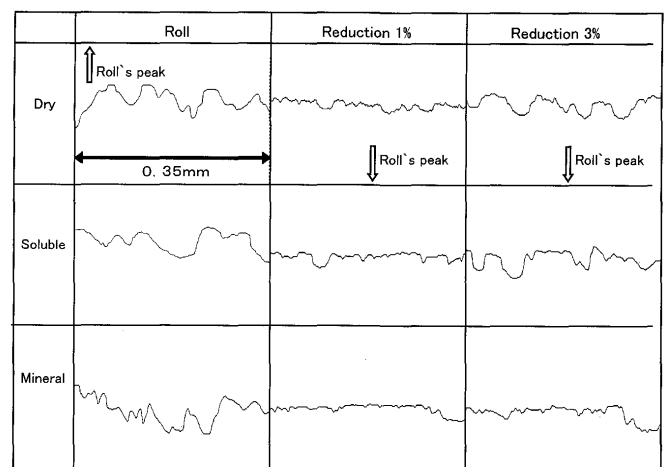


Fig. 5. Cross section profiles of high carbon steel sheet surfaces after temper rolling with ED roll.

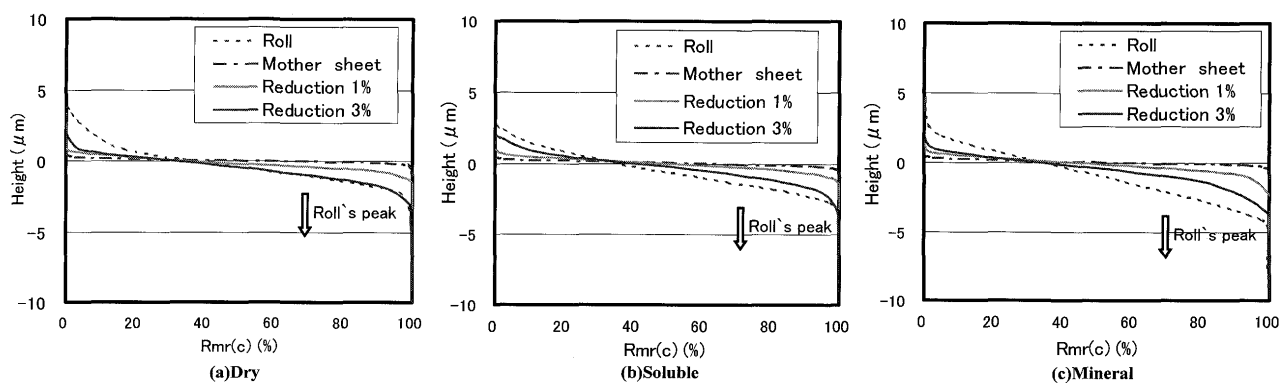


Fig. 6. Material ratio curves of high carbon steel sheet surfaces with ED roll.

の差は認められない。圧下率3%になると、潤滑条件によって差が見られ、水系調質圧延液を用いた圧延は最も転写率が高い。次がドライ圧延で、鉱油を用いた場合は最も転写率が低い。Fig. 3に、ロール表面および圧延後の鋼板の顕微鏡画像を示す。圧下率1%では、ロール表面形状の

一部が鋼板表面に転写されている。圧下率3%では、ロール表面形状の細かいところまで転写されている。この結果は、Fig. 4のSEM画像でも同様に確認できる。

次に、Fig. 5に断面粗さプロファイルを示す。圧下率1%、3%ともに、ロール表面形状の凸部が鋼板に転写されてい

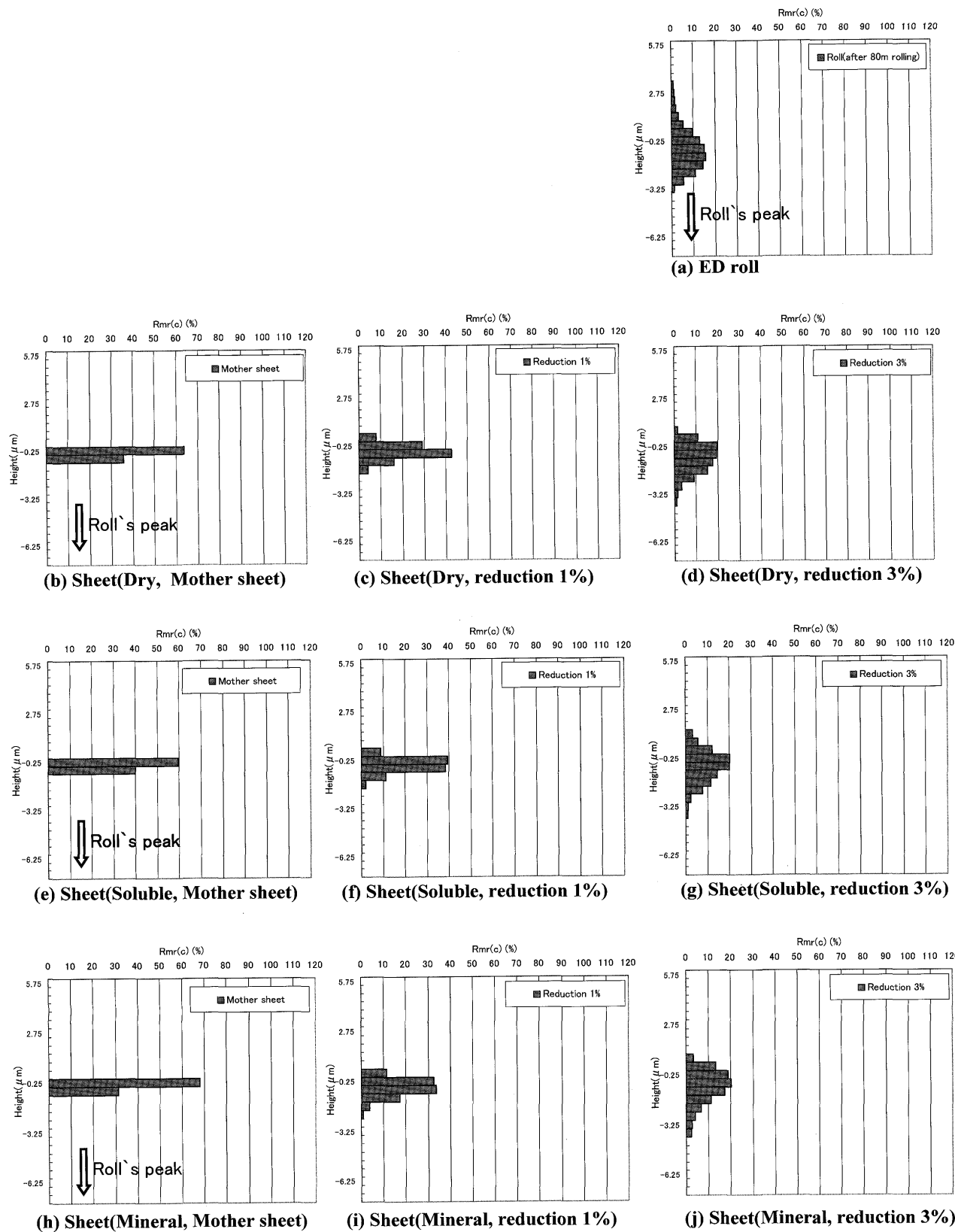


Fig. 7. Probability densities of high carbon steel sheet surfaces with ED roll.

る。水系調質圧延液とドライの場合は、凸部がそのままの形状で谷部に転写されている。一方、鉱油の場合では、谷部は凸部と異なる形状になっている。Fig. 6に三次元粗さデータを用いた負荷曲線を示す。縦軸のプラス側は鋼板の山部、マイナス側は鋼板の谷部を示している。ロールの結果は、鋼板と比較し易いように上下反転し、凸部がマイナス側になるように示している。まず鋼板の谷部に注目する。圧下率1%では、いずれの潤滑条件で圧延した鋼板も、ロールの曲線に近づいている。圧下率3%では、ドライの場合は、ロールの曲線とほぼ等しくなっている。水系調質圧延液と鉱油の場合も、圧下率1%に比べ、ロールの曲線に近づいているが等しくはない。一方、圧下率3%での鋼板の山部を見ると、水系調質圧延液の場合は圧下率1%に比べ、ロールの曲線に近づいている。しかし、ドライと鉱油の場合は、圧下率1%からあまりロールの曲線に近づいていない。負荷曲線から求めた確率密度関数をFig. 7に示す。縦軸のプラス側は鋼板の山部、マイナス側は鋼板の谷部を示している。圧下率1%では、いずれの潤滑条件も、圧延後鋼板の確率密度関数は、鋼板の谷部と山部の両方に少し偏っている。潤滑条件の差は明確ではない。圧下率3%になると、いずれの潤滑条件の場合も谷部側に大きく偏り、ロールの形状に近づいている。水系調質圧延液と鉱油の場合はドライの場合に比べ、山部への偏りも大きく、ロールの形状に近づいている。

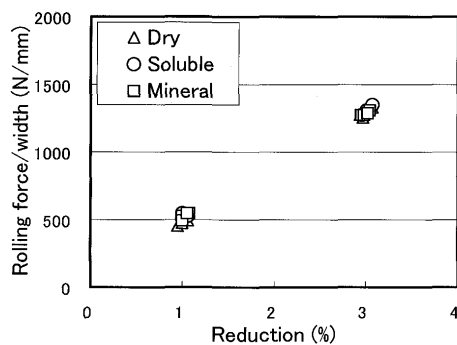


Fig. 8. Comparison of rolling force/width between several rolling conditions (SD roll, high carbon steel sheet).

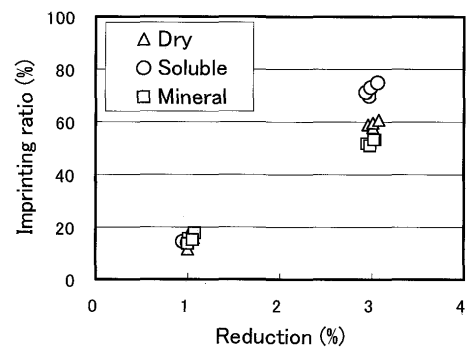


Fig. 9. Comparison of imprinting ratio between several rolling conditions (SD roll, high carbon steel sheet).

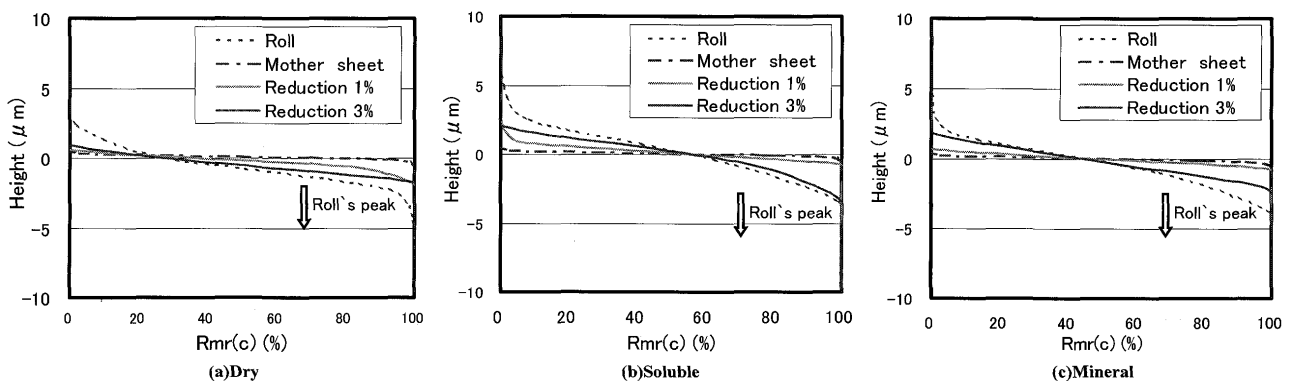


Fig. 10. Material ratio curves of high carbon steel sheet surfaces with SD roll.

3・1・2 ショットダルロールでの結果

3潤滑条件により、ショットダルロールで高炭素鋼板を圧延した。Fig. 8に圧下率と圧延荷重の関係を潤滑条件で比較した。圧下率1%, 3%ともに、潤滑条件による圧延荷重の差は認められない。Fig. 9に圧下率と転写率の関係を示す。圧下率1%では、潤滑条件による転写率の差は見られない。圧下率3%になると、水系調質圧延液は最も転写率が高い。次がドライで、鉱油は最も転写率が低い。

次に、三次元粗さデータを用いた負荷曲線をFig.10に示す。まず谷部を見ると、圧下率1%では、いずれの潤滑条件で圧延した鋼板もロールの曲線に近づいている。ドライがもっともロールの曲線に近い。圧下率3%になると、水系調質圧延液と鉱油の場合は、更にロールの曲線に近づいている。しかし、ドライの場合は1%とくらべて、あまりロールの曲線に近づいていない。また鋼板の山部を見ると、圧下率1%, 3%ともに、水系調質圧延液と鉱油の場合は、ドライにくらべロールの曲線に近づいている。負荷曲線から求めた確率密度関数をFig.11に示す。圧下率1%では、圧延後鋼板の確率密度関数は、鋼板の谷部と山部の両方に少し偏っている。圧下率3%になると、水系調質圧延液はドライと鉱油にくらべ、谷部側への偏りが大きく、ロールの形状に近づいている。また、水系調質圧延液と鉱油はドライにくらべ、山部への偏りが大きく、ロールの形状に近づいている。

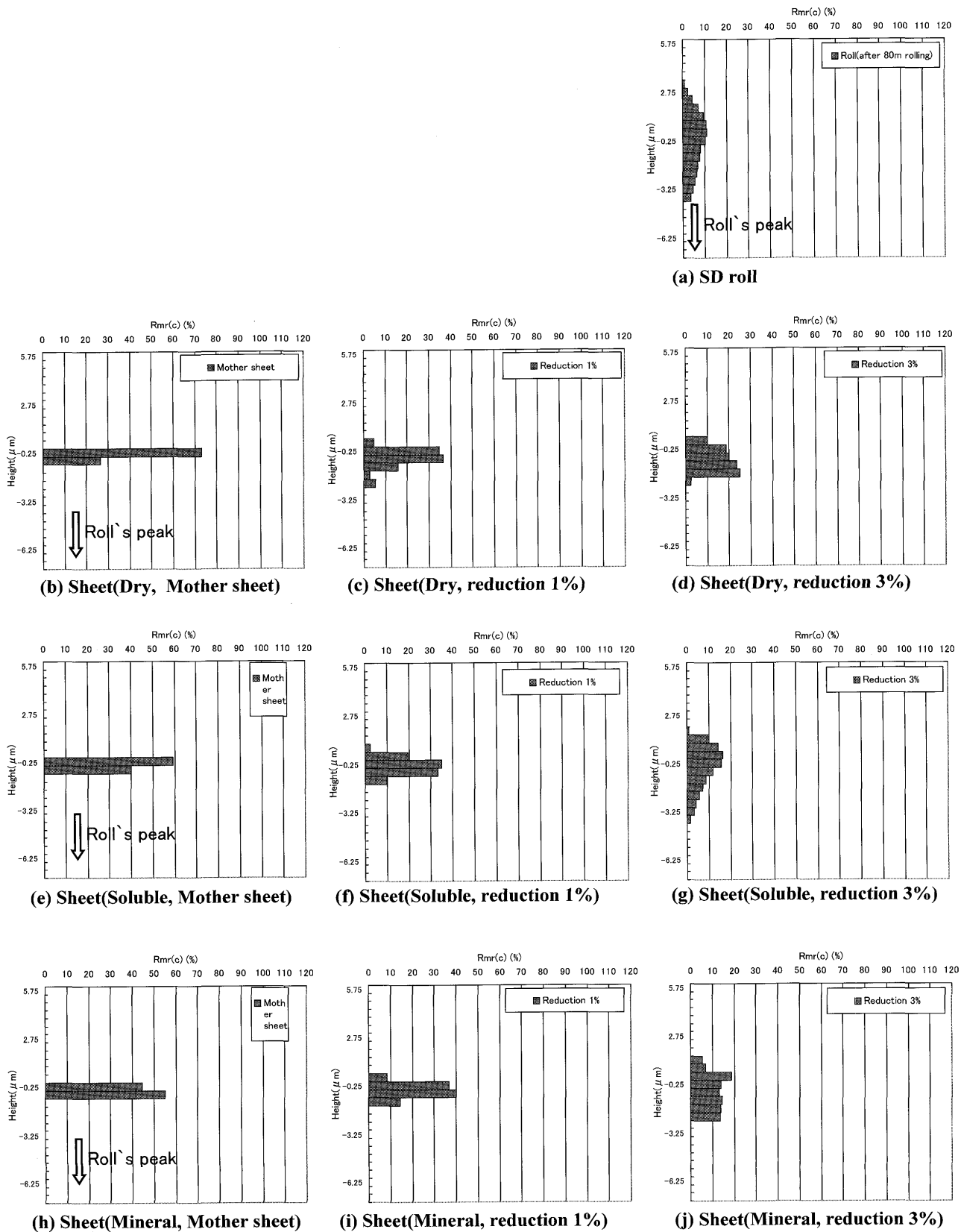


Fig. 11. Probability densities of high carbon steel sheet surfaces with SD roll.

3・2 低炭素鋼板の表面転写に対する潤滑剤の効果

3潤滑条件により、放電ダルロールで低炭素鋼板を圧延した。Fig.12に圧下率と圧延荷重の関係を示す。いずれの圧下率でも、潤滑条件による圧延荷重の差は認められない。

Fig.13に圧下率と転写率の関係を示す。圧下率1%では、潤滑条件による転写率の差は見られない。圧下率3%になると、水系調質圧延液とドライは、鉱油よりも転写率が高い。

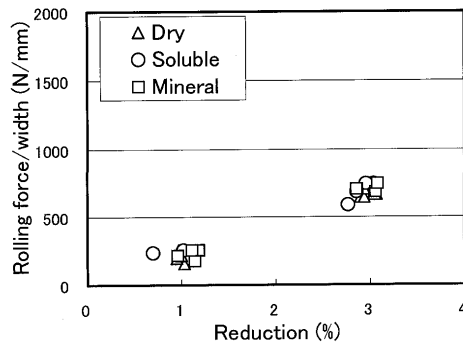


Fig. 12. Comparison of rolling force/width between several rolling conditions (ED roll, low carbon steel sheet).

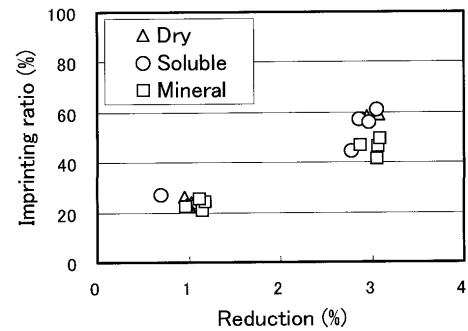


Fig. 13. Comparison of imprinting ratio between several rolling conditions (ED roll, low carbon steel sheet).

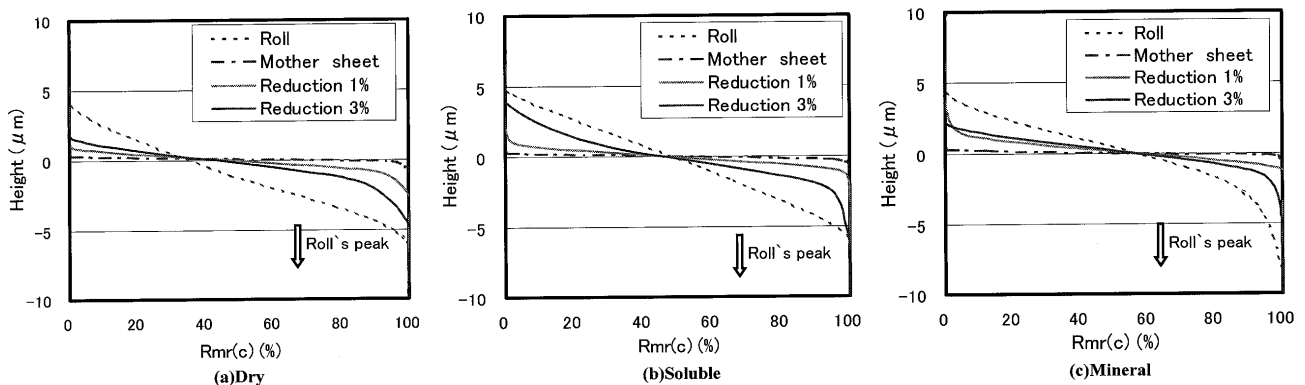


Fig. 14. Material ratio curves of low carbon steel sheet surfaces with ED roll.

次に三次元粗さデータを用いた負荷曲線を Fig.14 に示す。鋼板の谷部を見ると、圧下率1%と3%ともに、ロールの曲線に近づいており、潤滑条件の差は見られない。鋼板の山部を見ると、圧下率3%では、水系調質圧延液は圧下率1%からロールの曲線に近づいている。それに比べ、ドライと鉱油は、圧下率1%からあまりロールの曲線に近づいていない。負荷曲線から得られた確率密度関数を Fig.15 に示す。圧下率1%では、いずれの潤滑条件でも、圧延後鋼板の確率密度関数は、鋼板の谷部と山部の両方に少し偏っている。圧下率3%になると、いずれの潤滑条件も谷部側に大きく偏り、ロールの形状に近づいている。鋼板の谷部では、潤滑条件の差は明確ではない。しかし鋼板の山部では、水系調質圧延液はドライと鉱油にくらべ、山部への偏りが大きく、もっともロールの形状に近づいている。

3・3 張力変化時の潤滑剤の効果

水系調質圧延液とドライの2潤滑条件により、張力を変えて、ショットダルロールで低炭素鋼板を圧延した。Fig.16 に圧下率と圧延荷重に対する張力の影響を示す。水系調質圧延液で圧延した場合はドライ圧延にくらべ、張力が下がっても圧延荷重が増大しない傾向が見られる。Fig.17 に圧下率と転写率の関係を示す。水系調質圧延液はドライにくらべ、張力が下がっても転写率が増加しない。

その結果、高い張力では、水系調質圧延液の転写率が高く、低い張力では逆にドライの転写率が高くなっている。

4. 考察

水系調質圧延液を用いた圧延は、ドライ圧延や鉱油を用いた圧延より、高い転写率を示した。この理由を、Fig.18 の転写モデル図で考察する。ドライ圧延は潤滑不足のため、ロール表面と鋼板表面の接触部で金属接触を生じ、かじりにより表面形状が変化する。その結果、ロール表面の凹凸が鋼板表面に深くかみ込まれないので、転写率が低くなると推察する。次に、鉱油はロール表面凹凸と鋼板表面の接触部で油膜により良好な潤滑が行われるが、高压粘性を持つ油の油膜圧力により、ロールが深く鋼板にかみ込まれなくなり、転写率が低くなる。一方、水系調質圧延液は高压粘性が非常に低いので油膜圧力の影響が小さく、かつ薄膜でも吸着膜による潤滑効果を有するので、ロール表面の凹凸と鋼板表面の接触部で良好な潤滑が行われ、結果としてロール表面の凹凸が深く鋼板に入り込み、転写率が高くなると推定する。

このように、水系調質圧延液は、高压粘性が小さく、潤滑性を発揮する事によって粗さの転写に優れると推定する。以上の結果から、水系調質圧延液を用いると、表面転

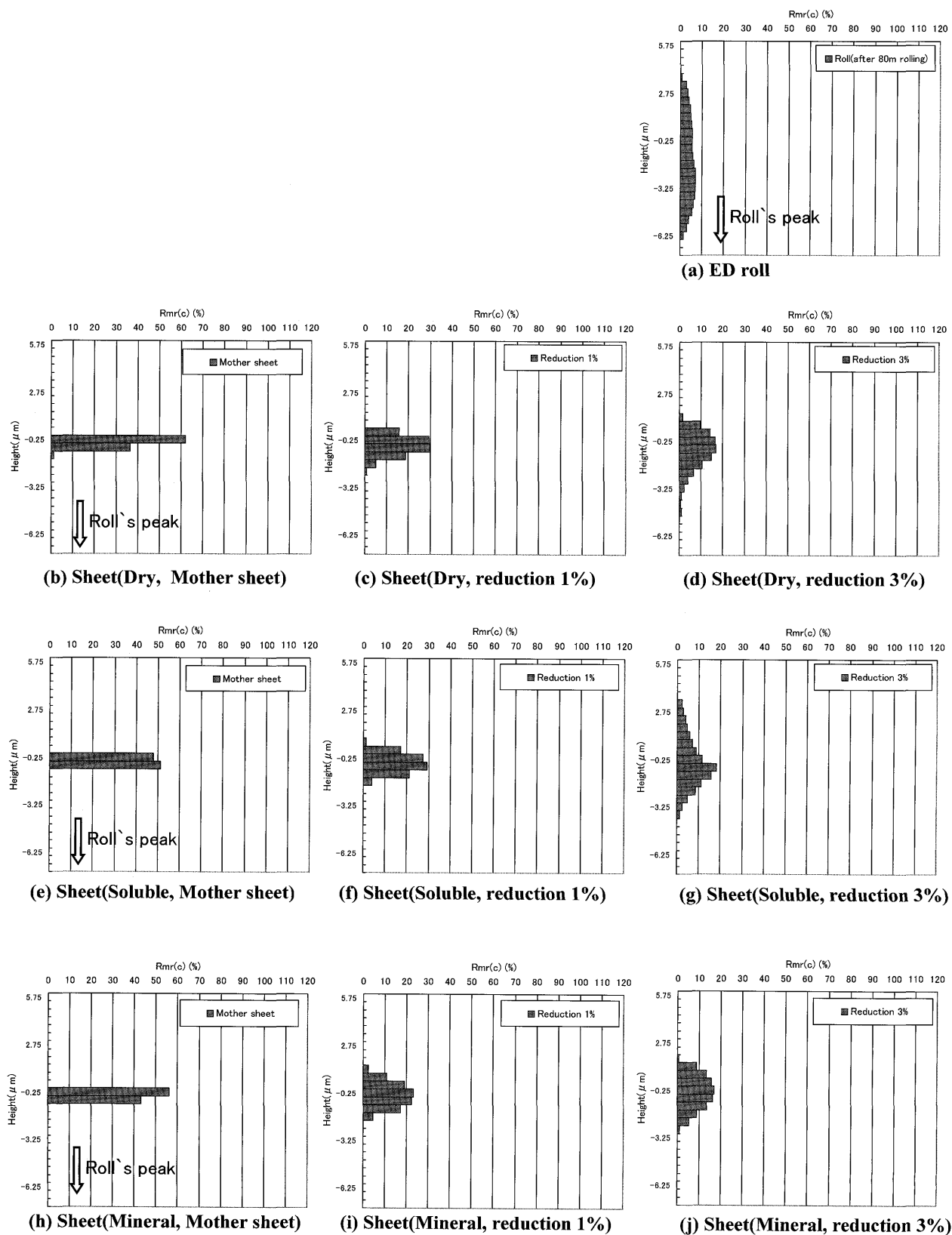


Fig. 15. Probability densities of low carbon steel sheet surfaces with ED roll.

写をコントロール出来る事が期待される。

5. 結言

本報告では、4段コイル圧延機を用いて、高圧粘性を殆ど有しない水系調質圧延液、高圧粘性を有する鉱油および

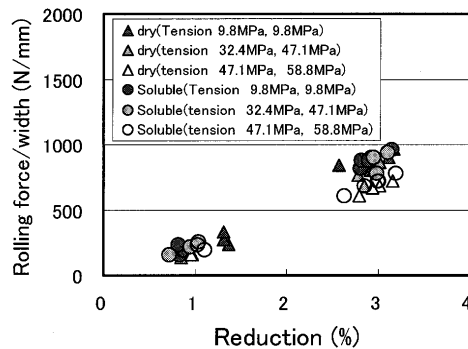


Fig. 16. Effect of tension on rolling force/width (SD roll, low carbon steel sheet).

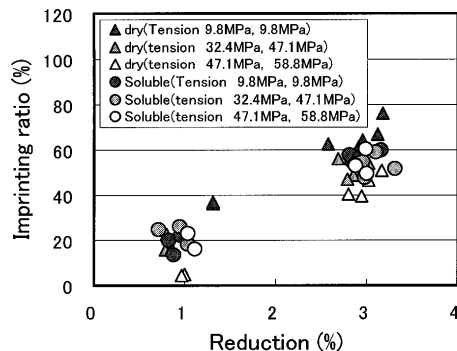


Fig. 17. Effect of tension on imprinting ratio (SD roll, low carbon steel sheet).

ドライの3潤滑条件で調質圧延を行い、表面転写を評価した。その結果、以下の結論を得た。

(1) 高炭素鋼板では、水系調質圧延液を用いた圧延は、ドライ圧延や鉱油を用いた圧延にくらべて、表面粗さの転写に優れることがわかった。

(2) 低炭素鋼板では、水系調質圧延液は鉱油にくらべると転写に優れ、ドライとは同等になる。水系調質圧延液は、低炭素鋼板よりも高炭素鋼板に対して効果が高いことがわかった。

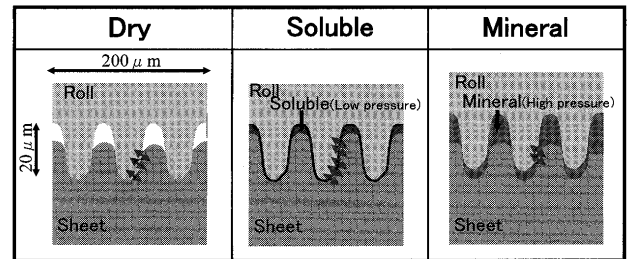


Fig. 18. Models of imprinting of dull roll surface on mild steel sheet.

(3) 水系調質圧延液はドライ圧延にくらべ、張力が下がっても圧延荷重が増大し難い傾向が見られる。

(4) 高圧粘性が非常に小さく、潤滑性に優れる水系調質圧延液は、表面粗さの転写をコントロール出来ることが期待される。

本報告の遂行にあたり、実験材料の提供および助言を頂いた生産部門冷延部会に対し、深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) I.Aoki: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **20** (1979), 1121.
- 2) Y.Kimura, M.Ueno and Y.Sodani: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 1214.
- 3) H.Hasimoto: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **20** (1979), 1121.
- 4) M.Yamasita: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **36** (1995), 1116.
- 5) G.Kawaguchi, S.Muto, A.Torao and H.Uchida: *CAMP-ISIJ*, **9** (1996), 1341.
- 6) 虎尾 彰, 鏑田征雄: 第49回塑性加工連合講演会講演論文集, (1998), 255.
- 7) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **17** (2004), 1015.
- 8) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 425.
- 9) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 1217.
- 10) 長瀬直樹, 志渡誠一, 鏑田征雄: 第36回塑性加工春季講演会論文集, (2005), 223.
- 11) 長瀬直樹, 志渡誠一, 鏑田征雄: トライボロジー会議2005秋予稿集, (2005), 283.
- 12) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **19** (2006), 404.
- 13) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **19** (2006), 985.
- 14) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **20** (2007), 63.