



調質圧延時のロール表面粗さ摩耗に対する 調質圧延油剤の効果

長瀬 直樹*・志渡 誠一*・鏑田 征雄*²

The Effect of Lubricant on Microwear of Dull Rolls in Temper Rolling by 4Hi Rolling Mill

Naoki NAGASE, Seiichi SHIDO and Ikuo YARITA

Synopsis : A roll surface texture is imprinted on a carbon steel sheet in temper rolling. It is important to reduce the roll microwear; since the roll surface causes the microwear, the value of the surface imprinting could not be provided. In most cases, dry condition or a lubricant was applied as lubrication states in temper rolling. However, the influence of lubricant with respect to the roll microwear has not been clarified. In this work, roll microwear has been evaluated in three lubrication states by the 4Hi rolling mill. Temper rolling experiments for as-annealed low carbon steel strips and as-annealed high carbon steel strips have been conducted in the range of 1 to 3% in reduction. Non lubricant (dry condition), water soluble lubricant and mineral oil were utilized as lubrication states. A shot dull roll (SDR) and an electric-discharged dull roll (EDR) were employed. Surface textures of the rolls have been observed directly. Surface textures in terms of mean surface roughness (Ra), three dimensional textures, cross section profiles and material ratio curves were applied to compare the dull rolls microwear. As a result, roll microwear is caused during 80 m rolling length making contact with the back up roll and steel strips; this because stable afterwards. The electric-discharged dull roll shows larger roll microwear than the shot dull roll with dry lubrication. The water soluble lubricant and the mineral oil both decrease the roll microwear of the electric-discharged dull roll.

Key words: temper rolling; dull roll; roll microwear; lubrication; water soluble lubricant; material ratio curve.

1. 緒言

調質圧延の重要な目的のひとつである鋼板の表面粗さ調整は、ロール表面形状を鋼板表面へ転写して行われる。ロール表面形状の粗さが摩耗すると、目標とする粗さは得られなくなる。そのため、再研磨が必要になり、圧延機の稼働率や作業コストに影響を及ぼしている。近年、高炭素鋼や高張力鋼などの硬い鋼種が増えており、ロール表面粗さ摩耗を防ぐ事がますます重要になっている¹⁻⁵⁾。また、調質圧延に用いられる水系調質圧延液などの潤滑剤は、ロール表面粗さ摩耗を低減することが期待される。しかし、その効果については明確になっていない。その理由として、ロール表面粗さ摩耗は、鋼板を長距離圧延しなければ評価できない。加えて直接観察、特に圧延前後で同一箇所の観察が難しいことが挙げられる⁶⁻¹⁰⁾。

そこで本報告では、4段コイル圧延機を用いた調質圧延を行い、ワークロールの表面粗さ摩耗に対する調質圧延油剤の効果を評価した。潤滑条件は、高圧粘性をほとん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無潤滑（ドライ）の3条件である¹¹⁻¹⁴⁾。圧延前後のワークロール表面は同一箇所をレーザー顕微鏡で直接観察した。ロー

ール表面粗さ摩耗は、観察画像から得られる三次元表面粗さデータを用いて整理した。

2. 実験方法

2・1 供試材

供試材は、高炭素鋼板焼鈍材および低炭素鋼板焼鈍材を用いた。高炭素鋼板は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%のコイル材である。低炭素鋼板は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%のコイル材である。両鋼板とも表面粗さはRaで約0.2 μmで、硬さは高炭素鋼板がHv₍₁₀₎で158 (Hsに換算すると24に相当)、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られていたので、強アルカリの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0.690 mm²/sの水系調質圧延液及び動粘度4.208 mm²/sの鉱油、の3条件で行なった。

平成20年1月31日受付 平成20年4月10日受理 (Received on Jan. 31, 2008; Accepted on Apr. 10, 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)

Table 1. Properties of the test lubricants.

	Water soluble Lubricant	Mineral oil
Chemical component	1% of Carboxylic acid with alkanol- amine 99% of Water	100% of Paraffinic hydrocarbon
Kinematic Viscosity @40°C (mm ² /s)	0.690	4.208

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	(m/min)	50
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

2・3 調質圧延条件

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φ131~133mmである。ワークロールの表面は、放電加工あるいはショットブラスト加工によりダル仕上げを施した（以後それぞれ放電ダルロール、ショットダルロールと記す）。表面粗さはRaでそれぞれ2.1~2.3μmと1.2~1.4μmに調整し用いた。バックアップロールは径がφ200mmで、表面粗さをRaで0.25μmに調整した。放電ダルロールの硬度はHs83であり、ショットダルロール（Hs89）、バックアップロール（Hs85）に比べ、若干硬度が低くなっている。圧延速度は50m/minに設定した。この圧延速度は、実機のワークロール径φ550mmで200m/minの圧延速度で圧延した時と同じひずみ速度になる。張力は実機相当の、入り側32.4MPa、出側47.1MPaに設定した。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張力である入り側と出側がともに9.8MPa、更に実機以上の張力である入り側47.1MPa、出側58.8MPaでの実験も行なった。圧下率は1%と3%を目標に圧延した。

2・4 ロール表面の観察

ワークロール表面は、レーザー顕微鏡を用いて直接観察した。圧延前のロール表面にけがき線を描き、圧延前後で同一箇所を観察した。顕微鏡画像は、0.35mm×0.30mmの範囲について、ステージをZ軸方向（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

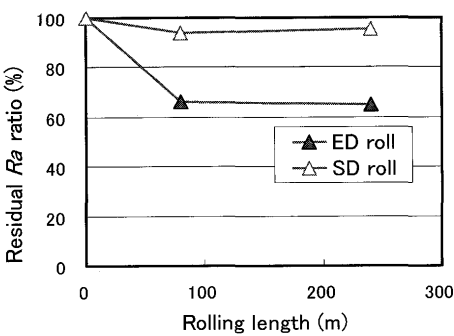


Fig. 1. Roll microwear of SD roll and ED roll after temper rolling (high carbon steel sheet, Dry).

均粗さRa、三次元画像、断面プロファイルおよび負荷曲線で整理した。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・5 ロール表面粗さ摩耗の測定

ロール表面粗さ摩耗は、表面粗さ残存率で表すこととし、以下の式で求めた。

表面粗さ残存率 (Residual Ra ratio)

$$= \frac{\text{圧延後のロールの表面粗さ Ra}}{\text{圧延前のロールの表面粗さ Ra}} \times 100 (\%)$$

3. 実験結果

3・1 ロール表面粗さ摩耗に対するロール表面硬度の影響

ドライの条件で、高炭素鋼板を圧延し、80m圧延後および240m圧延後のワークロールのロール表面粗さ摩耗を比較した。圧延距離80mと240mは、ロールと鋼板の接触回数を同じとすると、実機ロール径φ550mmで圧延した時のそれぞれ333mと1000mに相当する。Fig. 1に放電ダルロール、ショットダルロールのロール表面粗さ摩耗を示す。図中のEDロール、SDロールはそれぞれ放電ダルロール、ショットダルロールを示している。80m圧延後の放電ダルロールはショットダルロールにくらべ、ロール表面粗さ摩耗が大きく、表面粗さ残存率でそれぞれ66%と95%である。240m圧延後では、80m圧延後からほとんど摩耗していない。Fig. 2に圧延前後のロールのレーザー顕微鏡観察画像を示す。図中のRDは圧延方向を示している。80m圧延後では、いずれのロールも圧延前と異なる形状になっている。240m圧延後では、80m圧延後と差が見られない。このことは、Fig. 3の三次元画像でも確認できる。

次に、圧延前後のロールの断面粗さプロファイルをFig. 4に示す。放電ダルロールは、凸部の先端が摩耗し平坦になっている。ショットダルロールも、凸部の先端が摩耗し

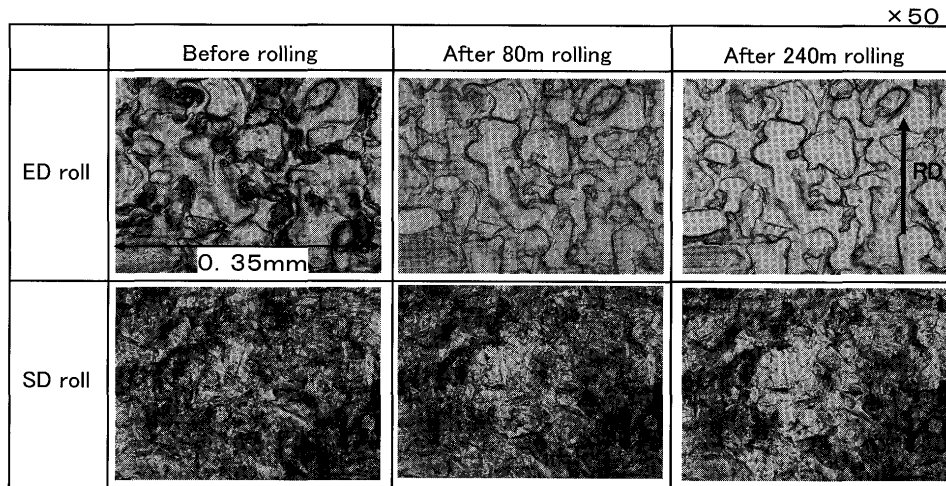


Fig. 2. Microscope images of roll surfaces after temper rolling (high carbon steel sheet, Dry).

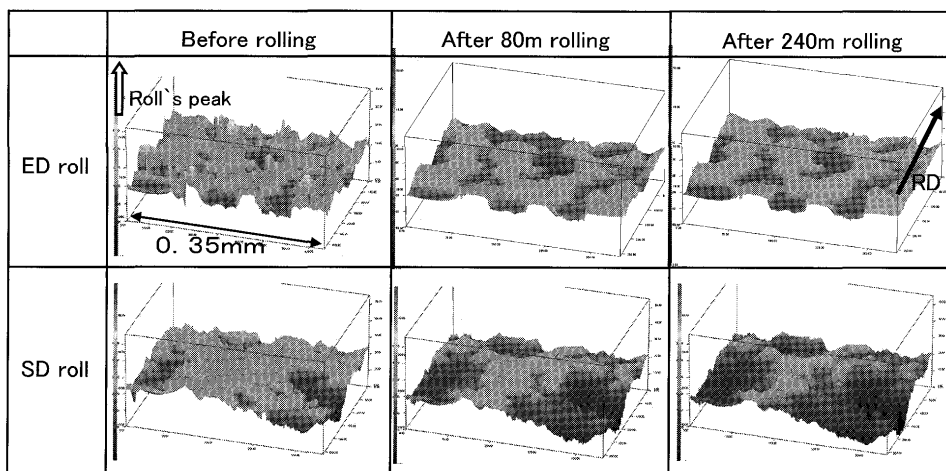


Fig. 3. Three dimensional textures of roll surfaces after temper rolling (high carbon steel sheet, Dry).

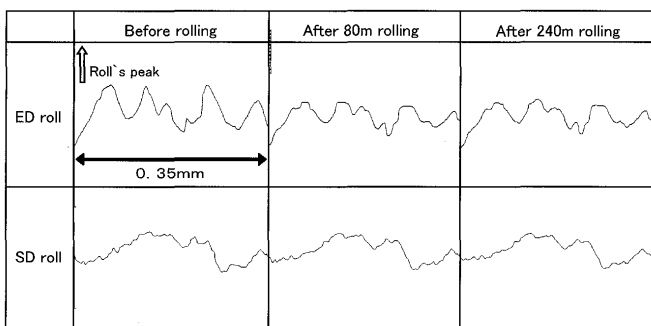


Fig. 4. Cross section profiles of roll surfaces after temper rolling (high carbon steel sheet, Dry).

ているが、その減少量は小さい。Fig. 5に三次元粗さデータを用いた負荷曲線を示す。80m圧延後では、いずれのロールも、凸部の先端にあたる最大山高さ付近の負荷長さが減少している。最大山高さは、放電ダルロールがショットダルロールよりも減少している。いずれのロールも、80m圧延後から240m圧延後ではほとんど摩耗してい

ない。

3・2 ロール表面粗さ摩耗に対する調質圧延油剤の効果

3・2・1 高炭素鋼板圧延後の放電ダルロールの摩耗

3潤滑条件（ドライ、水系調質圧延液および鉱油）により、放電ダルロールで高炭素鋼板を圧延した。Fig. 6に圧延後のワークロールのロール表面粗さ摩耗を示す。80m圧延後では、ドライで圧延したロールは潤滑剤を用いた場合に比べ、ロール表面粗さ摩耗が大きい。ドライは表面粗さ残存率が65%であるが、水系調質圧延液と鉱油は、それぞれ70%と85%である。いずれの潤滑条件においても、80m圧延後から240m圧延後では、ロールはほとんど摩耗していない。Fig. 7に圧延前後のロールのレーザー顕微鏡観察画像を示す。80m圧延後では、いずれの潤滑条件でも圧延前と異なる形状になっている。80m圧延後から240m圧延後では差が見られない。このことはFig. 8の三次元画像でも確認できる。

次に、断面粗さプロファイルを図9に示す。ドライ及び水系調質圧延液で圧延したロールは、凸部の先端が摩耗

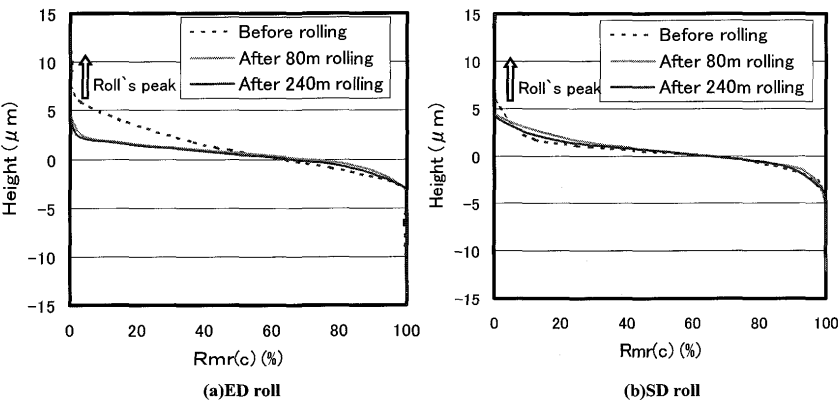


Fig. 5. Material ratio curves of ED and SD roll after temper rolling (high carbon steel sheet, Dry).

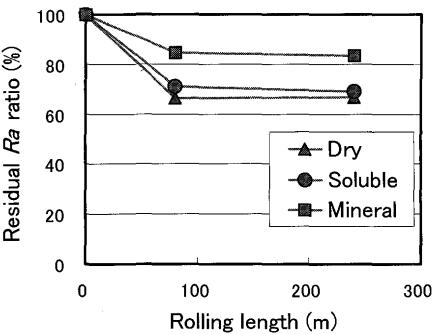


Fig. 6. Comparison of roll micro-wear among three lubrication conditions (ED roll, high carbon steel sheet).

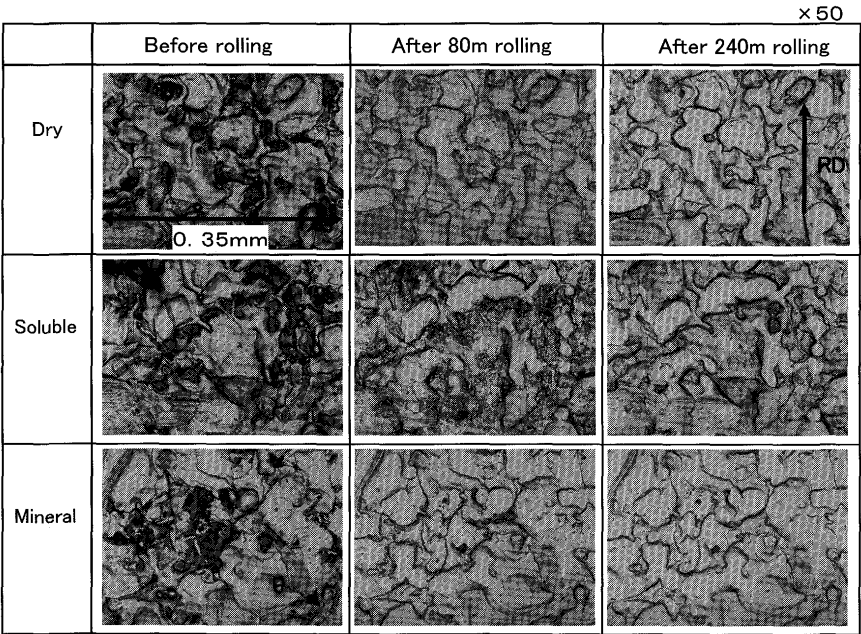


Fig. 7. Comparison of microscope images on ED roll surfaces (high carbon steel sheet).

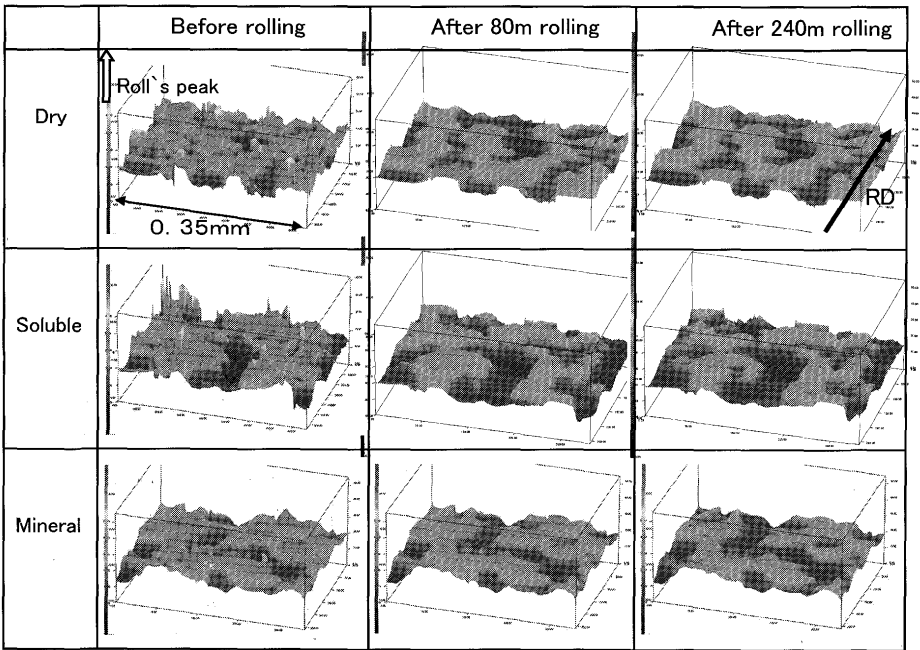


Fig. 8. Comparison of three dimensional texture of ED roll surfaces (high carbon steel sheet).

し平坦になっている。一方、鉱油で圧延したロールは、凸部先端の一部が摩耗しているのみで、鋭利な先端がまだ残っている。Fig.10に三次元表面粗さデータを用いた負荷曲線を示す。80m圧延後では、いずれの潤滑条件で圧延後のロールも、最大山高さ付近の負荷長さ率が減少している。ドライは、最大山高さがもっとも減少しており、次が水系調質圧延液で、鉱油はもっとも減少していない。

3・2・2 低炭素鋼板圧延後の放電ダルロールの摩耗

Fig.11に、3潤滑条件で低炭素鋼板を圧延した時の、放電ダルロールのロール表面粗さ摩耗を示す。80m圧延後では、水系調質圧延液や鉱油を用いた場合は、ドライ圧延と比較してワークロールのロール表面粗さ摩耗が小さい。ドライの表面粗さ残存率は85%であるが、水系調質圧延液と鉱油の場合は、いずれも95%である。Fig.12に圧延前後のレーザー顕微鏡観察画像を示す。いずれの潤滑条件でも、80m圧延後のロールは圧延前に比べて凸部の先端が摩耗している。また80m圧延後と240m圧延後ではほとんど差が見られない。次に、Fig.13に三次元表面粗さデータを用いた負荷曲線を示す。いずれの潤滑条件でも、80m圧延後のロールは圧延前にくらべて、最大山高さ付近の負荷長さ率が減少している。ドライは最大山高さが最も減少

している。次が水系調質圧延液で、鉱油は最も減少していない。この傾向は、高炭素鋼板と同様である。

3・2・3 高炭素鋼板圧延時のショットダルロールの摩耗

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。ワークロールのロール表面粗さと摩耗をFig.14に示す。いずれの潤滑条件で圧延したロールも、ロール表面粗さ摩耗は小さく、表面粗さ残存率で94~95%である。80m圧延後から240m圧延後ではほとんど摩耗していない。どの潤滑条件でも、ショットダルロールは放電ダルロールにくらべると表面粗さ摩耗が小さい。

3・3 張力の影響

張力3条件で、水系調質圧延液とドライの2条件により、ショットダルロールで低炭素鋼板を圧延した。Fig.15にワークロールのロール表面粗さ摩耗を示す。水系調質圧延液の場合は、いずれの張力でも80m圧延後のロール表面粗さ摩耗が小さい。一方、ドライ圧延では、ロール表面粗さ摩耗が張力によって大きく変化し、低い張力になるとロール表面粗さ摩耗が大きくなる。

4. 考察

本報告で用いたワークロールは、いずれも80m圧延中に摩耗し、その後は240mまで圧延してもほとんど摩耗していない。負荷曲線から、ワークロールは圧延中に凸部の

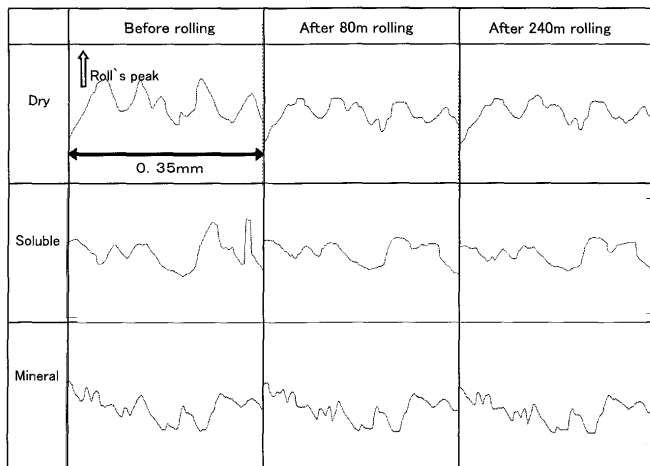


Fig. 9. Comparison of cross section profiles of ED roll surfaces (high carbon steel sheet).

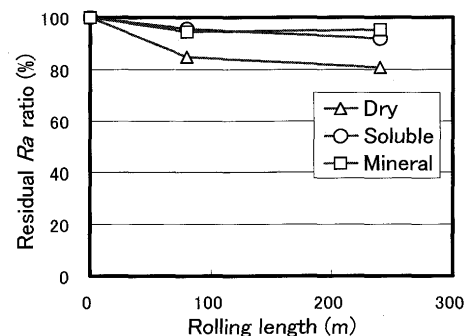


Fig. 11. Comparison of roll microwear among three lubrication conditions (ED roll, low carbon steel sheet).

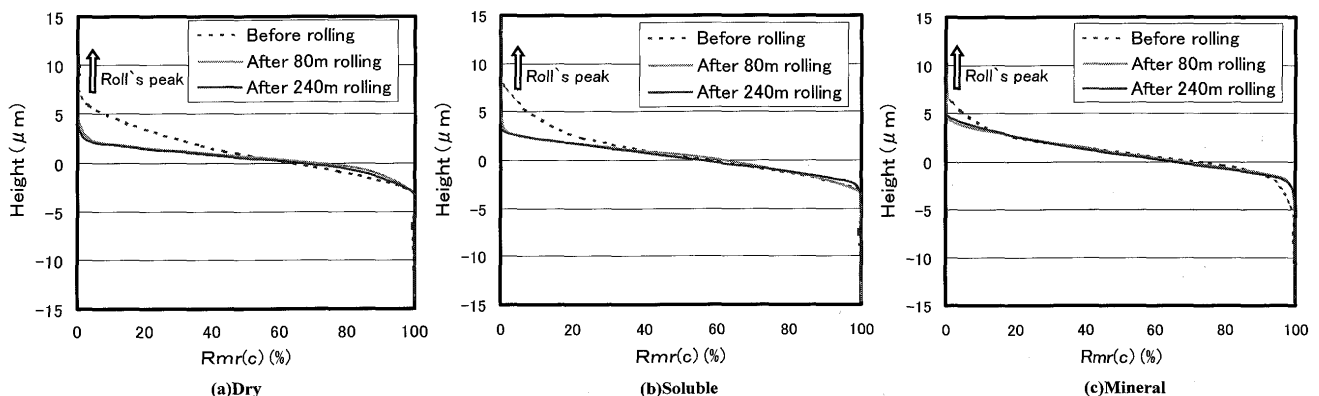


Fig. 10. Material ratio curves of ED roll after temper rolling (high carbon steel sheet).

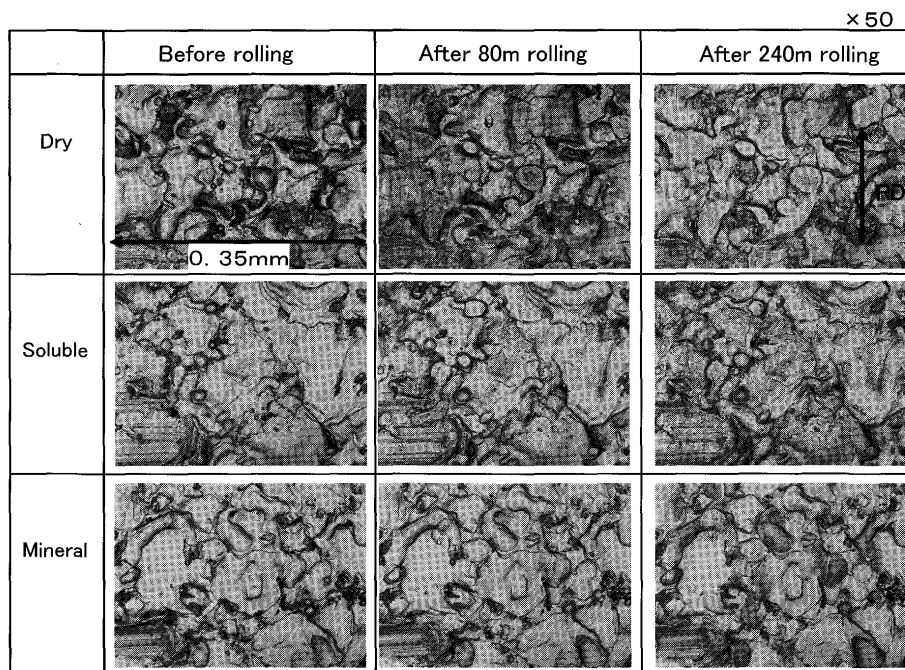


Fig. 12. Comparison of microscope images on ED roll surfaces (low carbon steel sheet).

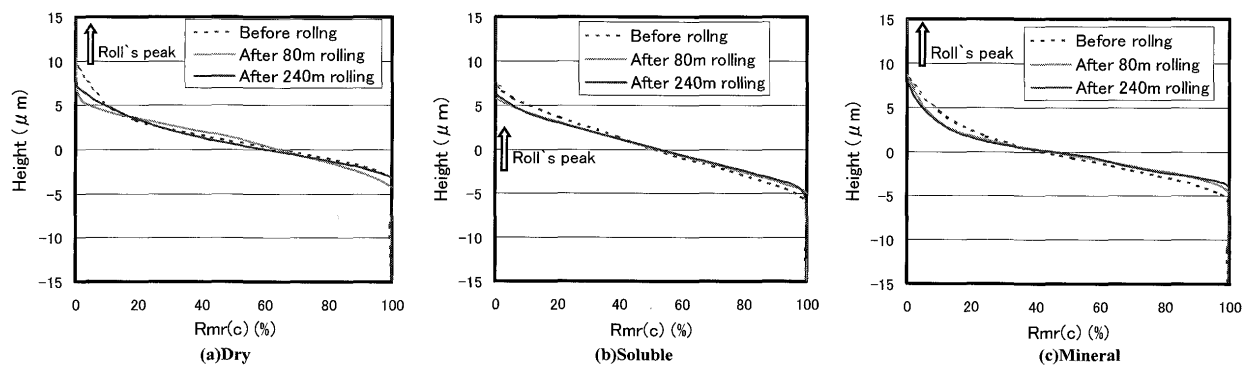


Fig. 13. Material ratio curves of ED roll after temper rolling (low carbon steel sheet).

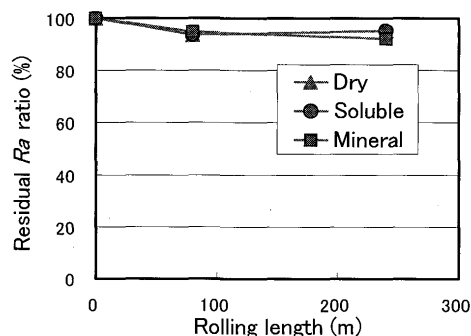


Fig. 14. Comparison of roll microwear among three lubrication conditions (ED roll, low carbon steel sheet).

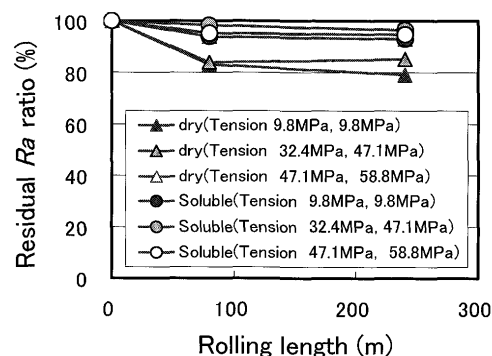


Fig. 15. Effect of tension on roll microwear (SD roll, low carbon steel sheet).

先端が摩耗することが確認できる。摩耗は、バックアップロールおよび鋼板と接触することによって考えられる。圧下率3%における、放電ダルロールを用いたドライ圧延時の圧延荷重は、高炭素鋼板が1100 N/mm、低炭素鋼板が650 N/mmであった。圧延荷重から求めたバックアップ

ロールとワークロールの平均ヘルツ接触応力は、高炭素鋼板の場合で391 MPa、低炭素鋼板の場合で300 MPaである。実際の真実接触面積はもっと小さく、接触圧力もこれらの計算値より高いものと考えられる。これに対し平均圧延圧力は高炭素鋼板の場合が408 MPa、低炭素鋼板が267 MPa

である。このことから、ロール摩耗はワークロールとバックアップロールの接触、および鋼板との接触によって生じると考えられる。

4・1 ロール間の接触による摩耗

放電ダルロールはショットダルロールにくらべロール表面粗さ摩耗が大きい。本報告で用いたロールは、いずれも同一条件で研磨し、それからダル仕上げを行っている。ショットダルロールはショットブラストによるダル仕上げによって加工硬化を生じる。一方、放電ダルロールはダル仕上げ時に加工硬化しない。その結果、放電ダルロールの硬さはHs 83、ショットダルロールの硬さはHs 89になっている。バックアップロールの硬さはHs 85である。このことから、放電ダルロールは、硬いバックアップロールと接触することにより、粗さ凸部の摩耗が大きくなると考えられる。

摩耗し易い放電ダルロールに対して、水系調質圧延液や鋳油を用いた圧延ではドライ圧延にくらべ、ロール表面粗さ摩耗が小さくなる。ドライ圧延では、ワークロールは硬いバックアップロールと直接金属接触するが、鋳油を用いた圧延では、ワークロールとバックアップロール間で高圧粘性による油膜を形成し、ロール表面粗さ摩耗を抑制する。また水系調質圧延液を用いた圧延では、高圧粘性による油膜の効果はほとんど期待できないが、添加剤成分の吸着による潤滑効果によってロール表面粗さ摩耗を抑制すると考えられる。

4・2 ロールと圧延板の接触による摩耗

硬度の低い放電ダルロールを用いて圧延すると、高炭素鋼板は低炭素鋼板にくらべ、ロール表面粗さ摩耗が大きくなる。圧下率3%におけるドライ圧延時の圧延荷重は、高炭素鋼板が1100~1120 N/mm、低炭素鋼板が650~710 N/mmである。このように、高炭素鋼板は同じ圧下率を得るために必要な圧延荷重が高いため、低炭素鋼板にくらべロール表面粗さ摩耗が大きくなると考えられる。高炭素鋼板を圧延しても、水系調質圧延液や鋳油を用いた圧延ではドライ圧延にくらべ、ロール表面粗さ摩耗が小さくなる。鋳油および水系調質圧延液は、ワークロールと鋼板の間でもロール間と同様の効果を示すと考えられる。

以上のことから、調質圧延に用いる潤滑剤の高圧粘性と

潤滑性を調整する事により、表面転写精度の向上やロール寿命延長が可能になると期待される。

5. 結言

本報告では、4段コイル圧延機を用いた調質圧延を行い、ロール表面粗さと摩耗に対する調質圧延油剤の効果を評価した。潤滑条件は、高圧粘性を殆ど有しない水系調質圧延液および、高圧粘性を有する鋳油を無潤滑（ドライ）と比較した。その結果、以下の結論を得た。

(1) ワークロールの表面は、バックアップロールや鋼板との接触によって、ロール表面形状の凸部先端が圧延の初期(80m)に摩耗する。その後は240mまで圧延してもほとんど摩耗しない。この傾向は放電ダルロールとショットダルロールで同様である。

(2) ドライ圧延では、放電ダルロールはショットダルロールよりも、高炭素鋼板は低炭素鋼板よりも、ロール表面粗さ摩耗が大きい。水系調質圧延液や鋳油を用いると、放電ダルロールおよび高炭素鋼板の表面粗さ摩耗が小さくなることがわかった。

(3) 水系調質圧延液を用いた圧延は、ドライ圧延にくらべ、ロール表面粗さ摩耗に対する張力の影響が小さいことがわかった。

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) T.Izushi: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **32** (1991), 458.
- 2) M.Yamashita: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **36** (1995), 1116.
- 3) K.Ando and K.Kato: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **44** (1999), 882.
- 4) K.Ando and K.Kato: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **44** (1999), 890.
- 5) A.Torao: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 1213.
- 6) K.Miyamoto: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **43** (1998), 925.
- 7) J.Sugimura: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **43** (1998), 933.
- 8) T.Nogi and T.Kato: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **43** (1998), 939.
- 9) T.Tsukada: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **43** (1998), 945.
- 10) H.Noro and E. Hamada: *Bull. Iron Steel Inst. Jpn.*, **11** (2006), 26.
- 11) N.Nagase, S.Shido and I.Yarita: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 1217.
- 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.