アルミニウム合金の冷間圧延における潤滑に及ぼす バックアップロールの影響

杉井 秀夫^{1*}・宇都宮 裕²

Journal of The Japan Institute of Light Metals, Vol. 69, No. 2 (2019), 120–124

© 2019 The Japan Institute of Light Metals

Effects of back-up rolls on lubrication in cold rolling of aluminum alloy

Hideo SUGII^{1*} and Hiroshi UTSUNOMIYA²

It is known that roll coating is formed on work rolls in cold rolling of stainless steel, copper alloys or aluminum alloys. It affects surface properties of rolled strip, rolling characteristics and amount of wear debris formed. By the way, actual rolling mills have back-up rolls, which are equipped in order to reduce the deflection of the work rolls. In this study, cold rolling of Al–Mg alloy A5182 is conducted in laboratory to investigate the effects of back-up rolls, on the rolling lubrication with a pair of back-up rolls which have groove at the center of the barrel. The backup roll does not contact with the roll coating on work roll when using the grooved backup-roll. As a result, it is found that the attainable maximum reduction in thickness is reduced by approximately 10 point compared with the case using normal flat back-up rolls. In addition, cold rolling of aluminum A1050 is conducted to investigate the effects of back-up rolls, on amount of wear debris formed in rolling lubricant. As a result, it is found that in the case of normal flat back-up rolls, the amount of wear debris is pronounced than the case of grooved back-up rolls.

(Received September 25, 2018 Accepted December 3, 2018)

Keywords: lubricant; rolling oil; roll coating; cold rolling; back-up roll

1. 緒 言

ステンレス鋼および銅やチタンとその合金の冷間圧延では、ワークロールに「ロールコーティング」と呼ばれる薄いコーティングが被加工材からの移着物によって生成し、圧延板の表面性状や圧延性、圧延摩耗粉の発生量等に影響を及ぼすことが知られている^{1)~8)}。

アルミニウムおよびその合金の冷間圧延においても、ワークロールにロールコーティングが顕著に生成し、加工時に圧延摩耗粉が発生しやすい^{9), 10)}。特に工業用純アルミニウムや電解コンデンサーなどに使用される高純度アルミニウムの冷間圧延においては、圧延摩耗粉の発生量が多く製品表面に付着する圧延摩耗粉の低減が課題となっている¹¹⁾。

ところで実生産の圧延機は、ワークロールの板幅方向のたわみを抑制し、板形状を改善する目的で、中間ロールやバックアップロールが用いられる。ワークロールの機械的な補強以外の圧延に及ぼす影響はほとんど報告されていない。しかしこれらロールはワークロールのロールコーティングと常に直接接触しているため、ロールコーティングの生成や圧延潤滑性に影響を与えられ^{12)~15)}。特にロールコーティングが生成しやすい金属であるアルミニウム、ステンレ

ス鋼、黄銅、チタン等の圧延潤滑シミュレーションにはバックアップロールの影響も考慮する必要がある。

本研究では、4Hiの小型圧延機を用いてアルミニウム材の冷間圧延実験を行い、圧延潤滑と圧延摩耗粉発生量に及ぼすバックアップロールの影響を実験室的に調査した。実験1ではアルミニウム合金A5182材を用いて、バックアップロールが圧延潤滑性(耐焼付き性)に与える影響について調査した。また、実験2では工業用純アルミニウムA1050材を用いて、圧延摩耗粉の発生量に対するバックアップロールの影響を調査した。

2. A5182材の実験(実験1)

2.1 実験方法

用いた小型圧延機の主な仕様をTable 1に示す。ワークロールとバックアップロールの胴長はいずれも200mmである。実験1はフラットなバックアップロールを用いた条件1と、上側バックアップロールの中央に幅50mm、深さ0.2mmの浅い切り欠きをつけた条件2の2条件で実施した。条件1と条件2のロール構成をFig. 1に、条件2で用いた上側バックアップロールの実験前の外観写真をFig. 2に示す。

条件2のバックアップロールの切り欠き部では、バック

¹ 出光興産株式会社 潤滑油二部 潤滑技術二課 (〒100-8321 東京都千代田区丸の内3-1-1) Idemitsu Kosan Co., Ltd. (3-1-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8321)

² 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 (吹田市) Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University (Suita-shi, Osaka)

* 責任著者 E-mail: hideo.sugii@idemitsu.com

Table 1 Specifications of the laboratory mill.

Mill type		Reversing 4Hi (Back-up roll drive)
Work Roll	Diameter, mm	135
	Roughness Ra, μm	0.25
	Material	SUJ-2
	Hardness	Hs90
Back-up Roll	Diameter, mm	200
	Roughness Ra, μm	0.40
	Material	SUJ-2
	Hardness	Hs80

Fig. 1 Schematic of roll arrangements. **Fig. 2** Photograph of grooved back-up roll.

アップロールとワークロールが接触しないため、ワークロールの通板部はバックアップロールを持たない2Hi圧延相当とみなすことができる。条件1と条件2の実験結果を比較することにより、バックアップロールが圧延潤滑性に与える影響を調査した。

Table 2 Properties of test lubricants.

Item	Unit	Experiment 1	Experiment 2
Kinematic Viscosity (40°C)	mm^2/s	3.882	4.450
Acid Value	mgKOH/g	0.00	0.00
Hydroxyl Value	mgKOH/g	15.0	14.0
Saponification Value	mgKOH/g	2.0	—

Table 3 Rolling conditions of Experiment 1.

Pass No.	Thickness, mm	Reduction, %	Rolling speed, m/min	Tension, kN	
				Entry	Exit
—	1.000	—	—	—	—
1-1	0.530	47.0	100	0.78	0.49
1-2	0.510	49.0	100	0.78	0.49
1-3	0.490	51.0	100	0.78	0.49
1-4	0.470	53.0	100	0.78	0.49
1-5	0.450	55.0	100	0.78	0.49
1-6	0.430	57.0	100	0.78	0.49
1-7	0.410	59.0	100	0.78	0.49
1-8	0.390	61.0	100	0.78	0.49
1-9	0.370	63.0	100	0.78	0.49
1-10	0.350	65.0	100	0.78	0.49

2. 1. 1 供試材

実生産の圧延工程において、焼付きの発生が課題となっているアルミニウム合金を供試材に選定した。圧延材は板厚1.0mm、板幅70mmのJIS H4000に規定されているA5182H (Al-Mg-Mn合金) コイルを用いた。

2. 1. 2 供試油

40°Cにおける動粘度が $3.8\text{mm}^2/\text{s}$ の含芳香族系鉱物油に、アルミニウムおよびその合金用冷間圧延油の油性剤として一般的に使用される工業用ラウリルアルコール5mass%と工業用ブチルスチアレート1mass%を配合したものを供試油とした。供試油の性状をTable 2に示す。

供試油は40°Cに調整してポンプで循環させ、ノズルからワークロールおよび圧延材にスプレー給油した。

2. 1. 3 実験条件

圧延実験条件をTable 3に示す。圧延は1パスで実施し、所定の速度で圧延しながら、20m長の圧延ごとに圧下率を1-1, 1-2, …, と段階的に上げる方法で段階圧延して、条件1と条件2の圧延潤滑性を評価した。なお、圧延実験に用いるワークロールとバックアップロールは、圧延実験ごとに所定の表面粗さに再研磨したものを用いた。

2. 2 実験結果

条件1ではTable 3中の1-10パスまで圧延でき、実測の板厚から求めた最大圧下率は65.1%であった。条件2ではTable 3中の1-8パスで圧延荷重が急に増大し、圧延荷重をさらに大きくしてもそれ以上は圧下できなかったため1-8パスを圧延限界と判断して、パススケジュールの途中であったが圧延を

Fig. 3 Relationship between rolling load and reduction.

Fig. 4 Optical micrographs of strip surface. Rolling direction is from left to right.

中止した。

圧延荷重と実測圧下率の関係を Fig. 3 に、圧延板の光学顕微鏡写真を Fig. 4 に示す。条件1では圧下率64.0% (1-9パス) まで正常に圧延することができ、その圧延板表面にはロールの研磨目の転写が認められるのみでヒートスクラッチ (焼付き疵) は認められなかった。圧下率65.1% (1-10パス) で圧延板表面に表面損傷形態の一つであるヘリングボーンの発生¹⁶⁾ が認められた。一方で上側バックアップロールの中央に切り欠きがある条件2では、圧下率54.0% (1-4パス) まで正常に圧延することができ、圧下率57.0% (1-5パス) で圧延板表面に軽度のヒートスクラッチが、圧下率61.0% (1-8パス) ではヘリングボーンの発生が認められた。

すなわち条件1と条件2の圧延潤滑性を比較した結果、条件1の方が正常な圧延が可能な圧下率がおおよそ10ポイントも高く、圧延潤滑性が良好であった。

圧延実験後の上側ワークロールの写真を Fig. 5 に示す。条件1 (1-10パス後)、条件2 (1-8パス後) とともに圧延板表面に発生したヘリングボーンの模様の転写が観察される。

(a) Condition 1

(b) Condition 2

Fig. 5 Photographs of upper work roll after rolling test.

3. A1050材の実験 (実験2)

3.1 実験方法

実験1と同様に、通常のバックアップロールを用いた条件1と、バックアップロールの中央に切り欠きをつけた条件2の2条件で実施し、バックアップロールが圧延摩耗粉の発生量に与える影響を調査した。

小型圧延機の仕様は Table 1 と同じだが、ワークロールの表面粗さは $Ra=0.20\mu m$ で、条件2のバックアップロールは上側と下側のいずれにも切り欠きを付与し、その切り欠きの幅は70mmとした。

3.1.1 供試材

実生産の圧延工程において圧延摩耗粉の発生量が多く、低減が目的とされている工業用純アルミニウム材を供試材として選定した。圧延材は板厚1.0mm、板幅60mmのJIS H4000に規定されているA1050P (H24) (純度99.50%以上のアルミニウム) コイルを用いた。

3.1.2 供試油

40°Cにおける動粘度が $4.3mm^2/s$ の低芳香族ナフテン系鉱物油に、アルミニウムおよびその合金用冷間圧延油の油性剤として一般的に使用される工業用ラウリルアルコール5mass%を配合したものを供試油とした。供試油の仕様を Table 2 に示した。

供試油は40°Cに調整したものをノズルからワークロールおよび圧延材にスプレー給油し、循環せずにかけ流しで使用した。

3.1.3 実験条件

圧延実験条件を **Table 4** に示す。圧延は1パスで実施し、一定の速度と圧下率で圧延しながら、圧延中に圧延油を下側バックアップロールの直下で採取した。

3.1.4 圧延摩耗粉量とロールコーティング量の測定方法

圧延摩耗粉は、圧延時に圧延油に混入する油中摩耗粉と圧延板表面に付着する板上摩耗粉、ワークロール表面に付着する摩耗粉の3つに大別することができる。油中摩耗粉の発生量が最も多く、アルミニウムの圧延工場の重要な管理項目の1つであることから、本研究では油中摩耗粉量について調査した。油中摩耗粉量は、圧延中に下側バックアップロールの直下でおよそ20m圧延するごとに供試油を採取し、採取した供試油に6Nの塩酸を加えて40°Cで15分間攪拌して塩酸層に溶解したアルミニウム濃度をICPで測定して油中摩耗粉量 (mg/100g) を求めた。

ロールコーティング量は、圧延実験後の上下のワークロールに生成したロールコーティングを6NのKOH水溶液で溶解し、溶解液中のアルミニウム濃度をICPで測定してロールコーティング量 (mg/m^2) を求めた。

Table 4 Rolling conditions of Experiment 2

Pass No.	Thickness, mm	Reduction, %	Rolling speed, m/min	Tension, kN	
				Entry	Exit
—	1.000	—	—	—	—
1	0.600	40.0	100	1.18	0.59

3.2 実験結果

3.2.1 圧延荷重

圧延距離150mから200mの圧延荷重の平均は、条件2（切り欠きつきバックアップロール）よりも条件1（通常バックアップロール）の方が約2%大きく、表面損傷が発生していない圧下率条件での実験1と同じ傾向であった。

3.2.2 油中摩耗粉量

圧延距離に対する油中摩耗粉量の推移を **Fig. 6** に示す。条件2よりも条件1の方が油中摩耗粉量は多く推移しており、バックアップロールとワークロールが直接接触することが油中摩耗粉の発生量を増加させていることが示唆される。

Fig. 6 Relationship between rolling distance and amount of Al debris in sampled lubricants.

Fig. 7 Photographs of work roll after rolling test.

Fig. 8 Amount of roll coating on work rolls after rolling test.

3.2.3 ロールコーティング量

圧延実験後のワークロールの外観写真を Fig. 7 に、ロールコーティング量の測定結果を Fig. 8 に示す。ワークロールの外観写真の比較から、条件1（通常バックアップロール）の方が条件2（切り欠きつきバックアップロール）よりもロールコーティングがやや濃く生成している。またロールコーティング量の測定値も条件1の方が約23%多い結果であり、このことを裏付けている。

4. 考 察

実験1の条件2で圧延板にヒートスクラッチが発生した圧下率57.0%における平均圧延圧力を計算により求めると358MPaであり、この時の下側ワークロールと下側バックアップロールの接触圧力は、最大ヘルツ圧力852MPa、平均ヘルツ圧力568MPaと計算される。ワークロールとバックアップロールは圧延材との接触圧力に比較して2倍近い圧力で接触している。このような接触圧力は、圧延時に圧延材からワークロールに移着したロールコーティングの一部をバックアップロールがこすり落とし、残ったロールコーティングを押し固める働きをしていると考えられる。すなわち、バックアップロールがワークロールと接触しない条件2の場合には、圧延材からワークロールに移着した金属が、バックアップロールと接触することなく、そのまま再度圧延材に接触することを繰り返すため共金摩擦が発生しやすく、凝着損傷が発生しやすくなるものと考えられる。

一方で、条件1のようにバックアップロールがワークロールと接触する場合には、ロールコーティングの軟らかい部分はこすりとりられ、さらには圧延圧力の2倍の圧力で固められたコーティング表面が圧延材に接触していくため、共金摩擦が発生しにくくなるものと考えられる。

実験1の結果より、ロールコーティングの発生しやすい金属の圧延潤滑をシミュレーションする場合には、バックアップロールの潤滑効果を十分考慮する必要があることが明らかとなった。

次に、実験2は実験1と同様に、ワークロールとバックアップロールが接触しない条件2においては、バックアップロー

ルがロールコーティングの一部をこすり落とし、押し固める効果がないため、油中摩耗粉の生成量が条件1と比較して非常に少なかったと考えられる。ロールコーティング量についても条件2はバックアップロールがロールコーティングを押し固めることがなかったため少なかったと考えられる。

実験1および実験2の結果より、バックアップロールはワークロールのたわみを抑えて圧延品の形状の精度向上に寄与するだけでなく、ロールコーティングの生成を介して圧延潤滑性に影響を与えていることが本論文で明らかとなった。

5. 結 言

小型圧延機を用いてアルミニウム材の冷間圧延実験を行い、次の結果を得た。

(1) A5182材の圧延実験では、バックアップロールが圧延潤滑性に与える影響について調査を行い、バックアップロールはワークロールのたわみを抑えて圧延品の形状制御に寄与するだけでなく、ロールコーティングの生成を抑制して共金摩擦による圧延潤滑性の低下を抑制し、耐焼付き性を向上させる働きも有していることが確認された。

(2) A1050材の圧延実験では、バックアップロールの存在が油中および板上摩耗粉の発生量を増加させていることが確認された。

謝 辞

本研究の実験にあたり、出光興産株式会社営業研究所加工油グループ 志渡誠一氏、長瀬直樹氏、谷野順英氏にご協力をいただきましたことを付記し謹んでお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) P. Montmitonnet and E. Felder: 7th International Conference on Tribology in Manufacturing Processes, (2015), 62–73.
- 2) P. Montmitonnet, F. Delamare and B. Rizoulières: Wear, **245** (2000), 125–135.
- 3) 志渡誠一, 今住則之, 菅野法仁, 田崎稔典, 澤 浩一, 川並高雄: 第47回塑性加工連合講演会講演論文集, (1996), 281–282.
- 4) 小倉茂稔, 沢部寿宏, 関 克己, 遠藤和彦: 塑性と加工, **29** (1988), 498–503.
- 5) H. Sugii, N. Tanino and H. Utsunomiya: Proceedings. Asia Steel International Conference, 2015, (2015), 260–261.
- 6) 剣持一仁, 磯辺邦夫, 鐘田征雄, 福原明彦, 清野芳一, 赤沢高: 第46回塑性加工連合講演会講演論文集, (1995), 139–140.
- 7) 杉井秀夫: トライボロジスト, **55** (2010), 860–866.
- 8) 阿部賢太, 松本 良, 宇都宮裕: 材料とプロセス, **28** (2014), No.167.
- 9) 小豆島明, 本山康貴, 石川道朗: 第46回塑性加工連合講演会講演論文集, (1995), 137–138.
- 10) 杉井秀夫, 松本貢一, 津田康宏: 軽金属学会第119回秋期大会講演概要, (2010), 143–144.
- 11) 渡邊貴道: トライボロジスト, **55** (2010), 847–853.
- 12) 志渡誠一, 杉井秀夫, 澤 浩一: 塑性加工春季講演会講演論文集, (2001), 199–200.
- 13) 谷野順英, 杉井秀夫, 宇都宮裕: 日本鉄鋼協会第170回秋季講演大会, **28** (2015), No.166.
- 14) 谷野順英, 杉井秀夫, 松本貢一, 津田康宏, 宇都宮裕: 材料とプロセス, **29** (2016), No.169.
- 15) 杉井秀夫, 谷野順英, 宇都宮裕: 銅と銅合金, **52** (2013), 81–86.
- 16) 志渡誠一: トライボロジスト, **41** (1996), 363–368.