

しごき加工における揮発性潤滑油の潤滑性能*

王 志 剛^{*1}, 堂 田 邦 明^{*1}, 鄭 永 勲^{*2}

Lubricity of Volatile Lubricants in Ironing Process

Zhrgang WANG^{*3}, Kuniaki DOHDA and Young-Hoon JEONG^{*3} Department of Mechanical Systems Engineering, Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193 Japan

A series of experiments is carried out using a strip-ironing type tribometer to investigate the possibility of the volatile lubricants as the lubricant for the bulk metal forming process. The tool material is the die steel alloy SKD 11, and the workpiece material is the mild steel SPCE, the stainless steel SUS 304 and the aluminum alloy A 3004. Experiments show that the volatile lubricants have the same lubricity as the generally used mineral oil with low-viscosity judging from the value of friction coefficient, the surface appearance of ironed workpiece and the surface damage of the die. The volatile lubricants can be applied to the ironing process with 40% reduction in thickness when the workpiece surface texture and the compatibility between the die and workpiece are properly considered.

Key Words: Plastic Forming, Tribology, Lubrication, Volatile Lubricant, Ironing, Friction Coefficient

1. 緒 言

塑性加工において潤滑油は、摩擦係数の低減、製品表面品位の確保、工具寿命の延長などのために必要な場合が多い。しかし、加工後の製品表面に付着した潤滑油は数回の洗浄工程を必要とし、脱脂・洗浄用有機溶剤が地球環境に悪影響を及ぼすため、その使用が近年厳しく規制されている⁽¹⁾。そのため、洗浄などの後処理を必要としない潤滑技術が開発が盛んに行われている。その一つとして、揮発性潤滑油(無洗浄油)を挙げることができる。揮発性潤滑油は低沸点の揮発成分のみによって構成され、加工後しばらく放置すれば製品表面に全く残存しない。また、揮発成分の地球環境および人体への影響は極めて軽微であるため、その適用は新たな設備を必要とせず、比較的簡便であるため電子部品関連のプレス加工、特にせん断加工などに使用されている⁽¹⁾。最近では、深絞り加工において速度効果の利用、振動の併用などの工夫によって、従来のプレス加工用潤滑油と同等の性能が得られることが報

告されている⁽²⁾⁽³⁾。しかし、せん断加工、深絞り加工以外の塑性加工法への適用例はほとんど見当たらない。本研究では、引抜き、鍛造加工のような高面圧・大変形を伴う加工への適用をはかるため、しごき形摩擦試験機により潤滑性能の評価を行う。

2. 実 験 条 件

2・1 摩擦試験機 図1に本実験に用いたしごき形摩擦試験機の原理図⁽⁴⁾を示す。試験片①は拘束板⑤と一体で上方に引き上げられ、ダイス②によってしごき加工が施される。しごき率の変更は拘束板直動案内⑥を移動し、ダイスと拘束板の間隔を調整して行う。加工速度は0.1~28 mm/sの範囲内で任意に変更できる。ダイス面に作用する垂直力 N_D および摩擦力 F_D は弾性梁④③に貼ったひずみゲージによって検出する。これらの値を用いて摩擦係数を算出し、摩擦状態の評価尺度とする。

2・2 試料 供試圧延材として、板厚1.0 mmのダル仕上げ軟鋼板(SPCE, 引張強さ309 MPa, 加工硬化指数0.224)、板厚0.76 mmのステンレス鋼板(SUS 304, 引張強さ613 MPa, 加工硬化指数0.350)と板厚1.0 mmのアルミニウム合金軟質板(A 3004-O, 引張強さ182 MPa, 加工硬化指数0.218)の3種類

* 原稿受付 2002年5月20日。

*¹ 正員, 岐阜大学工学部(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)。*² 正員, 岐阜大学大学院(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)。

E-mail: dmlab@cc.gifu-u.ac.jp

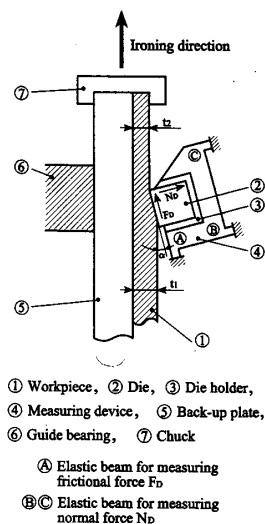


Fig. 1 Principle of strip-ironing type tribometer

を用いた。長手方向が圧延方向と一致するように幅 10 mm, 長さ 600 mm の帯板を採取し試料とした。図 2 に加工前の試料表面性状を示す。軟鋼板の表面性状は供試圧延板のままの表面(以後、粗面と呼ぶ)とダイヤモンドペーストでポリシング仕上げたもの(以後、平滑面と呼ぶ)の 2 種類とした。ステンレス鋼板の表面性状は供試圧延板のままとし、アルミニウム合金軟質板の表面性状はダイヤモンドペーストでポリシング仕上げた平滑面とした。

2・3 揮発性潤滑油 揮発性潤滑油は主販されている粘度の異なるもの 3 種類を用いた。表 1 に揮発性潤滑油の特性を示す。潤滑油の構成成分は炭化水素のみである。また、比較潤滑油としてパラフィン系鉱油 P 10 ($9.87 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 40°C)を用いた。

2・4 実験条件 表 2 に実験条件を示す。ダイスには合金工具鋼 SKD 11 を使い、 $0.01 \mu\text{m}$ R_a にラッピング仕上げた。しごき率は 5%, 20%, 30%, 40% の 4 種類とし、加工速度は 28 mm/s とした。秤量法を用いて潤滑油の揮発特性をあらかじめ測定し、潤滑油塗布後の経過時間を調整することにより、しごき開始時の油膜厚さをすべての実験において $10 \mu\text{m}$ とした。

3. 実験結果および考察

3・1 しごき行程に伴う摩擦係数の変化 図 3 にしごき率 5%, 図 4 にしごき率 20%での加工行程に伴う摩擦係数の変化を示す。

しごき率 5%では、いずれの潤滑油と試料においても、しごき行程中摩擦係数は 0.1 程度と低く安定している。

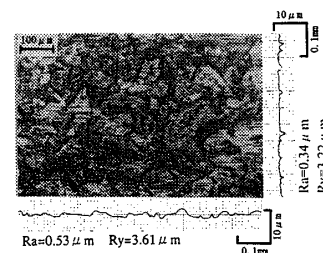
しごき率 20%では、潤滑油と試料の変更による摩擦

Table 1 Properties of volatile lubricant

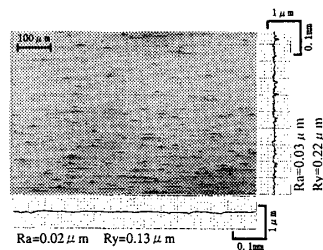
Lubricant		A	B	C
Viscosity ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ at 40°C)		0.8	1.33	1.7
Speed of volatiliness (h)		0.5	1	3
Component (%)	Hydrocarbon	≥ 99.0	100	100
	Corrosion inhibitor	$\leq 1\%$	—	—

Table 2 Experimental conditions

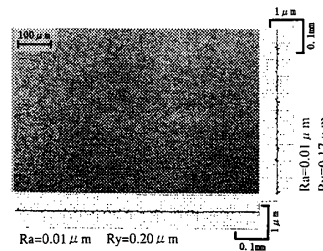
Die angle, α	10°
Ironing velocity, V mm/s	28
Ironing reduction, R_e %	5, 20, 30, 40
Oil film thickness, f_0 μm	10
Ironing travel, h mm	200
Temperature, $^\circ\text{C}$	25 ± 1



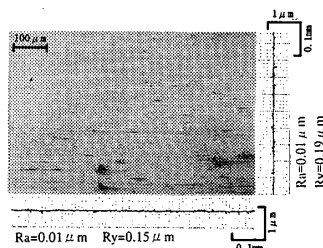
(a) SPCE-R



(b) SPCE-S

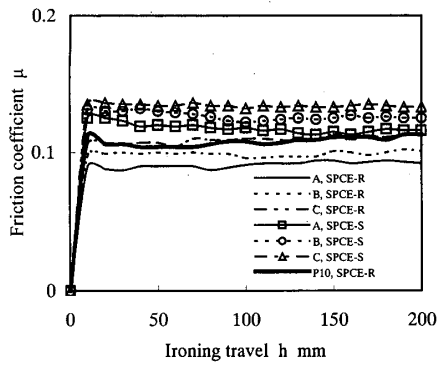


(c) SUS 304

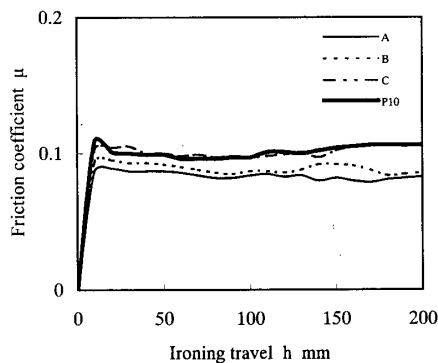


(d) A 3004

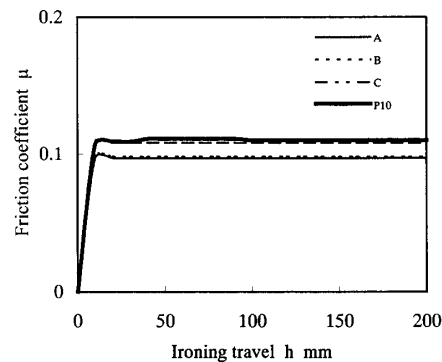
Fig. 2 Surface appearance of workpiece



(a) SPCE



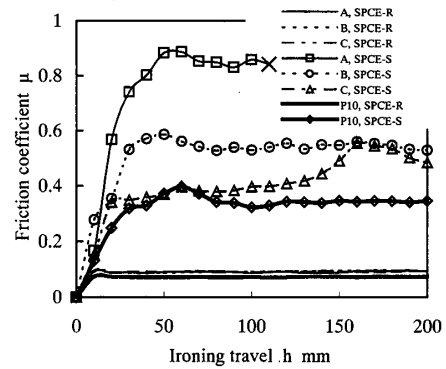
(b) SUS 304



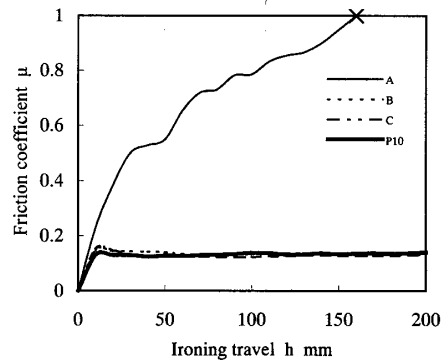
(c) A 3004

Fig. 3 Variations in friction coefficient during ironing ($Re=5\%$)

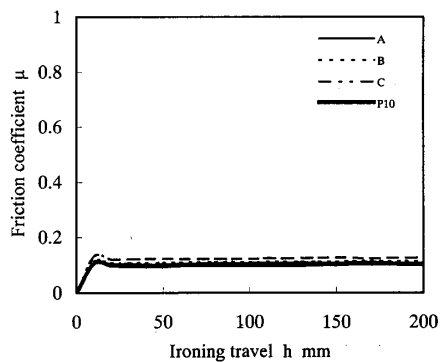
係数の変化が見られた。まず、SPCE 平滑面試料の場合、揮発性潤滑油 A では摩擦係数は 0.84 以上の高い値となり、しごき行程 $h=110$ mm 地点で試料破断が生じた。揮発性潤滑油 B と C では、摩擦係数は 0.30 以上と高く加工中不安定で、潤滑油 P10 よりやや劣る結果となっている。一方、SPCE 粗面試料の場合、いずれの揮発性潤滑油も潤滑油 P10 と同様、摩擦係数は 0.1 程度と低く安定している。SUS 304 試料の場合、揮発性潤滑油 A では摩擦係数はしごき行程に伴い増加し続け、しごき行程 $h=210$ mm 地点で試料破断に至った。しかし、揮発性潤滑油 B と C では潤滑油 P10 と同様しごき行程中安定した低い摩擦係数



(a) SPCE



(b) SUS 304



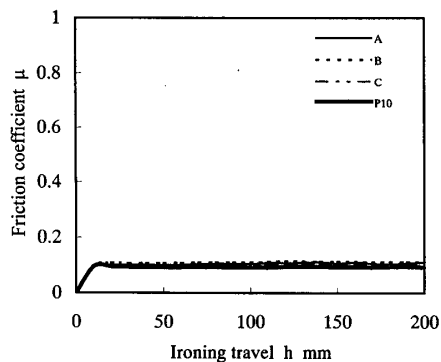
(c) A 3004

Fig. 4 Variations in friction coefficient during ironing ($Re=20\%$)

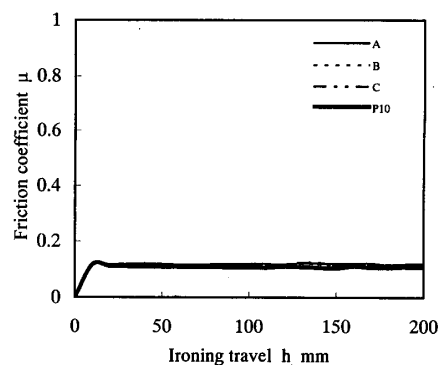
を示している。A 3004 試料の場合、すべての揮発性潤滑油においてしごき行程中摩擦係数は 0.1 程度と低く安定している。

しごき率 20%においてしごき行程中安定した低い摩擦係数を示した潤滑油と試料の組合せに対して、しごき率をさらに高めた実験を行った。その結果を図 5, 6 に示す。

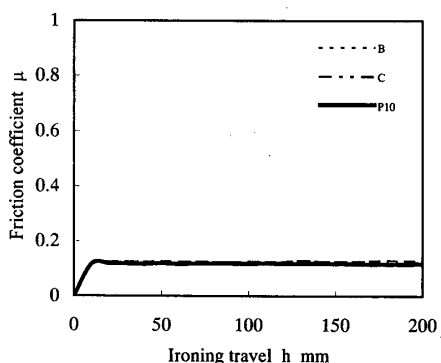
しごき率 30%の場合、いずれの組合せも安定した低い摩擦係数を示している。しごき率 40%の場合、SPCE 粗面と A 3004 では摩擦係数は行程中安定した低い値を示している。SUS 304 試料では、摩擦係数は加工行程中増加し続け、揮発性潤滑油 B はしごき行程



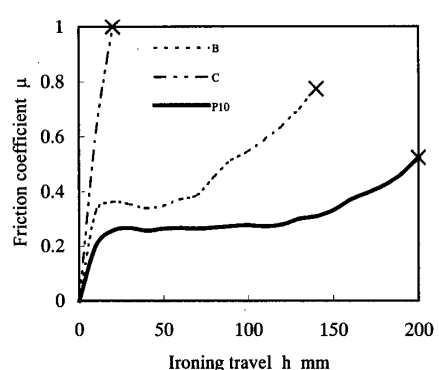
(a) SPCE-R



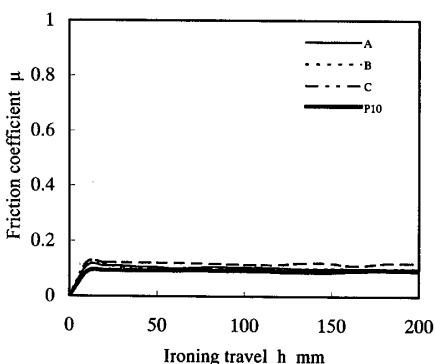
(a) SPCE-R



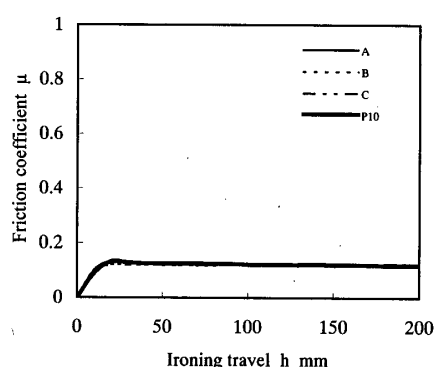
(b) SUS 304



(b) SUS 304



(c) A3004



(c) A3004

Fig. 5 Variations in friction coefficient during ironing ($Re=30\%$)Fig. 6 Variations in friction coefficient during ironing ($Re=40\%$)

$h=140$ mm で、C は $h=40$ mm で、P 10 は $h=220$ mm でそれぞれ試料破断に至った。

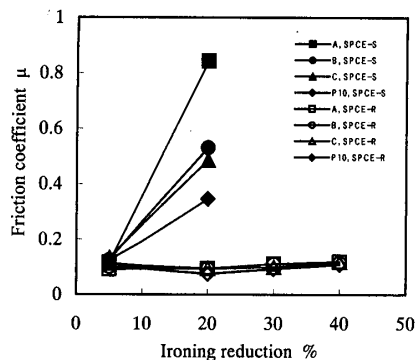
しごき率と摩擦係数の関係を図 7 にまとめて示す。ここではしごき行程 $h=200$ mm における摩擦係数 μ_{200} を代表値として用いた。しごき行程中試料破断が生じた場合、破断時の摩擦係数を示した。SPCE 試料の場合、平滑面ではいずれの潤滑油においてもしごき率が増加すると摩擦係数も著しく増加しているが、粗面ではしごき率の増加による摩擦係数の変化はほとんど見られない。SUS 304 試料の場合、揮発性潤滑油 B と C はしごき率 30% までの加工において低い摩擦係数を示している。A 3004 試料の場合、しごき率の変

化による摩擦係数の変化はほとんど見られない。

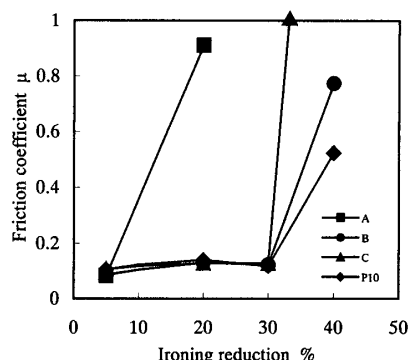
このように、揮発性潤滑油は試料材質と表面性状によっては、しごき率 40% 程度の厳しい加工条件においても低い摩擦係数を示し、十分適用可能であることが認められた。

3・2 加工後の試料およびダイス表面性状 図 8 に揮発性潤滑油 A を用いたしごき率 20% での SPCE 試料の加工後の試料表面性状を示す。粗面試料では加工方向に平行な軽い擦過傷が見られるが、平滑面試料では表面全体に激しい焼付きが生じている。

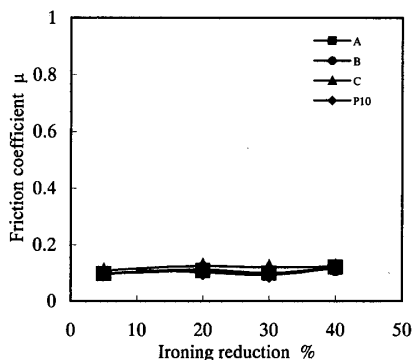
図 9～11 にしごき率 20% における各潤滑油での加工後の試料およびダイス表面性状を示す。



(a) SPCE



(b) SUS 304



(c) A 3004

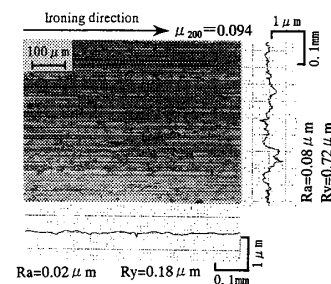
Fig. 7 Relationship between friction coefficient and ironing reduction

SPCE 平滑面試料の場合、いずれの潤滑油においても加工後の試料表面は表面全体に激しい焼付きの痕跡が見られる。ダイス表面は付着物(黒色領域)に覆われている。

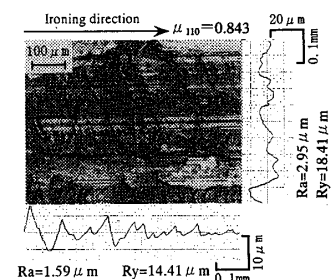
SUS 304 試料の場合、揮発性潤滑油 A では激しい焼付きの痕跡が見られるが、他の潤滑油では加工方向に平行な擦過傷と凝着が混在している。

A 3004-O 試料の場合、いずれの潤滑油においても加工後の試料およびダイスの表面損傷は極めて軽微である。

3・3 考察 SPCE 試料において、いずれの揮発性潤滑油においても、平滑面試料より粗面試料の方が



(a) SPCE-R



(b) SPCE-S

Fig. 8 Surface appearance of ironed workpiece (SPCE, A, $Re=20\%$, $V=28$ mm/s)

低い摩擦係数を示している。これは、粗面の表面凹部にトラップされた潤滑油が加工中に被加工材と工具間の接触界面に流出し潤滑状態を改善した、いわゆるオイルピッチ潤滑効果^{(5)~(7)}によるものと考えられる。

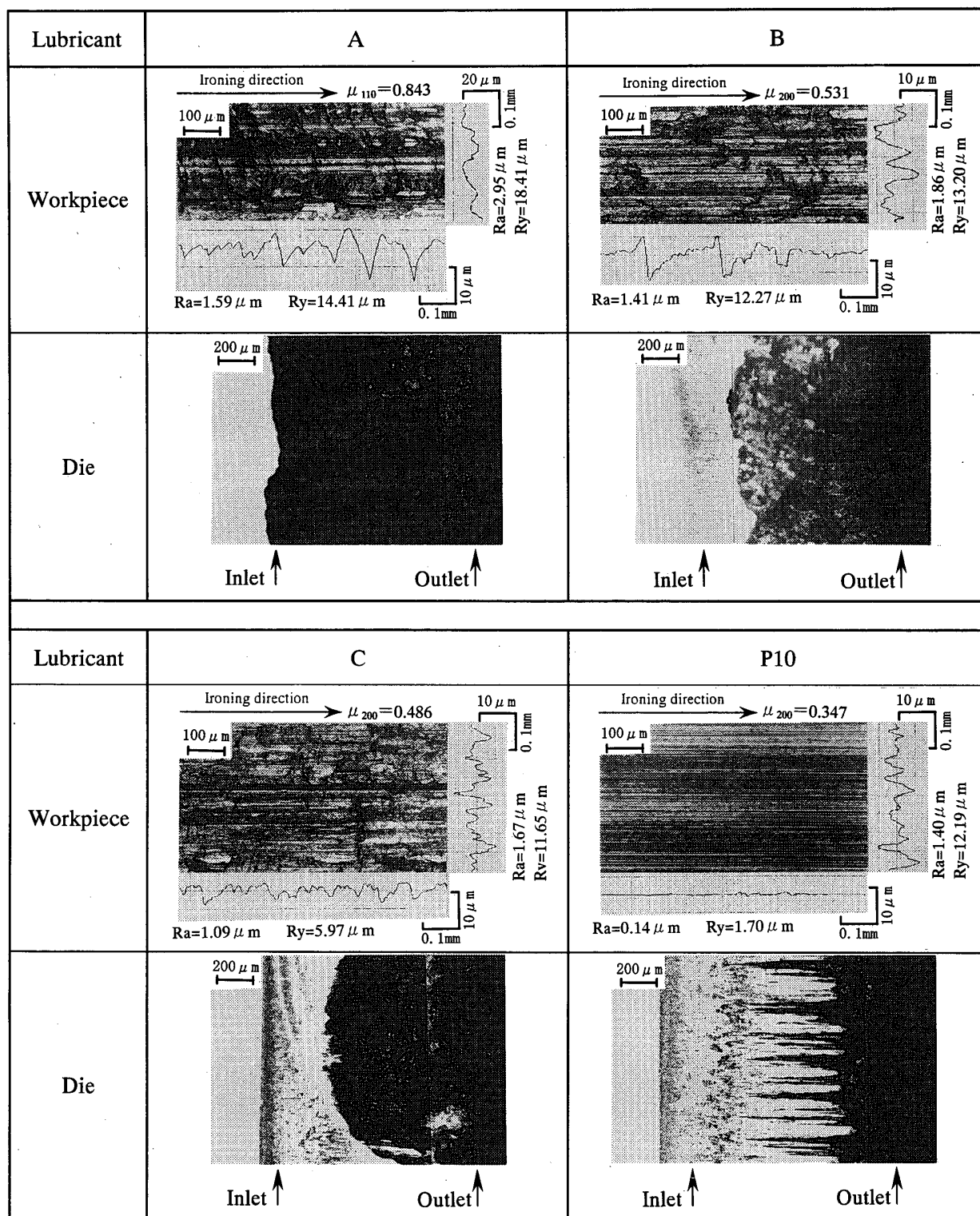
試料材質の影響に関しては、従来認識された被加工材と工具材間の適合性の良否⁽⁷⁾⁽⁸⁾が再確認された。すなわち、工具 SKD 11 と SPCE 試料の組合せでは適合性が悪く、高い摩擦係数と焼付きの発生が見られる。しかし、工具 SKD 11 と A 3004 試料の組合せでは良好な摩擦特性と加工後試料表面性状が得られ、よい適合性を示している。

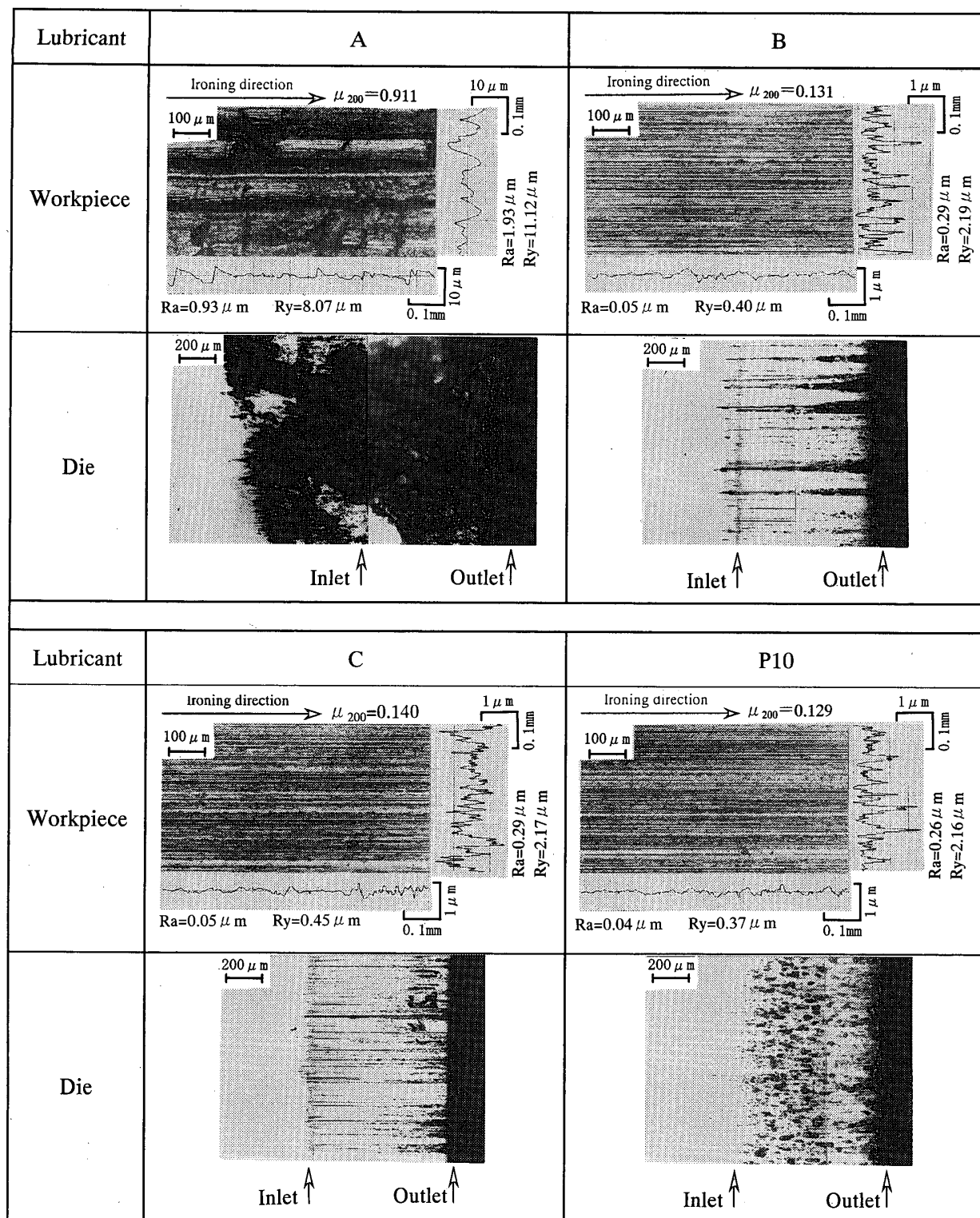
4. 結 言

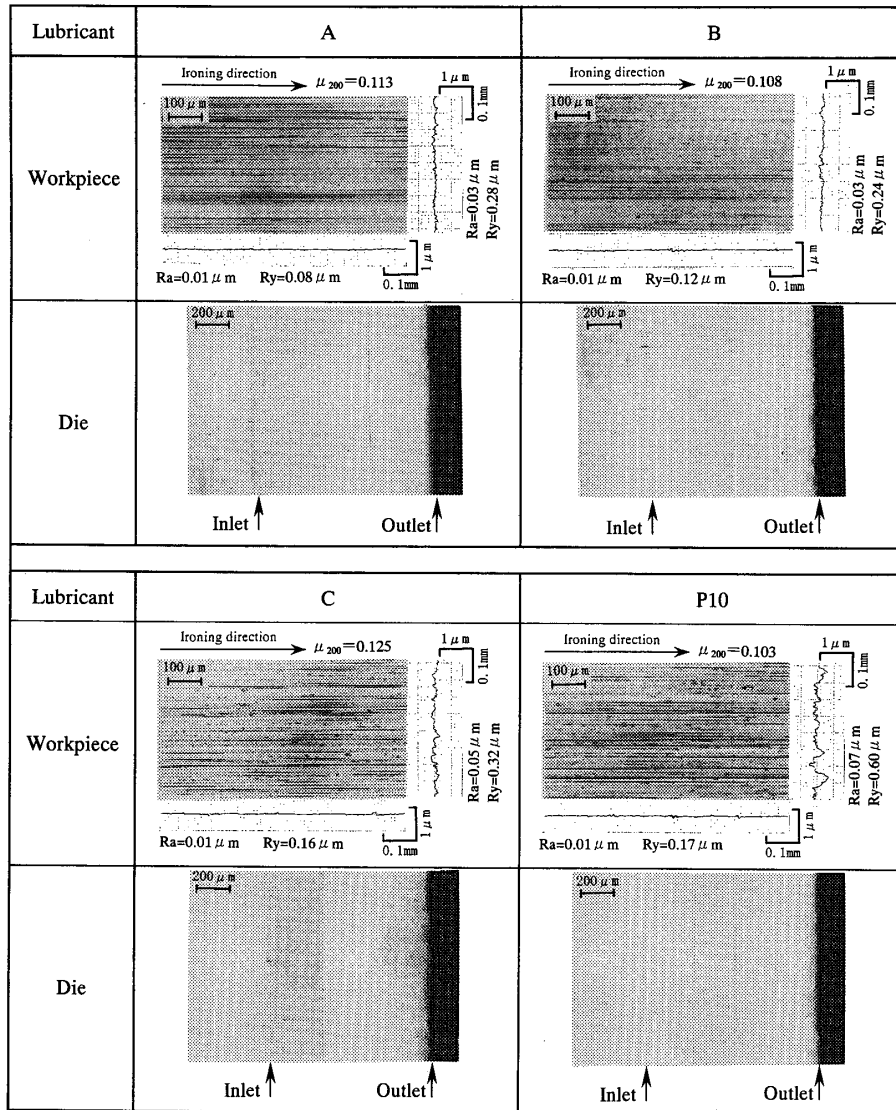
帯板しごき形摩擦試験機を用いて、脱脂・洗浄工程が不要な揮発性潤滑油の潤滑性能を調べた。合金工具鋼 SKD 11 を工具材とし、被加工材材質としごき率を種々変更させた実験から以下の結論が得られた。

(1) SPCE 材では、平滑面試料を用いた場合、いずれの揮発性潤滑油もしごき率 20%での加工において 0.4 以上の摩擦係数を示した。粗面試料を用いた場合には、いずれの揮発性潤滑油もしごき率 40%までは、加工後のダイス表面には付着物がわずかに見られるが、摩擦係数は 0.1 程度で比較的良好な摩擦特性を示した。

(2) SUS 304 材では、粘度が $1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (at 40°C) 以上の揮発性潤滑油はしごき率 30%までの加工


Fig. 9 Surface appearance of ironed workpiece and die after ironing (SPCE-S, $Re=20\%$, $V=28\text{ mm/s}$)


Fig. 10 Surface appearance of ironed workpiece and die after ironing (SUS 304, $Re=20\%$, $V=28\text{ mm/s}$)

Fig. 11 Surface appearance of ironed workpiece and die after ironing (A 3004, $Re=20\%$, $V=28$ mm/s)

において、ダイス表面に付着物が見られるものの、摩擦係数は0.1程度と小さく、比較潤滑剤P10と同等の特性を示した。

(3) A 3004材では、いずれの揮発性潤滑油もしごき率40%までは、良好な摩擦特性を示した。

これらの事実に基づいて、被加工材と工具材の組み合わせあるいは被加工材表面性状の適正化を行うことによって、揮発性潤滑油は高面圧・大変形を伴う加工にも十分適用可能と推定される。

文 献

(1) 木村茂樹, プレス技術, **33-8** (1995), 18-24.

(2) 片岡征二, 軽金属, **48-1** (1998), 25-29.
 (3) 片岡征二, 軽金属, **48-2** (1998), 78-82.
 (4) 河合望・中村保・堂田邦明・広瀬圭介, 機論, **48-433**, C (1982), 1473-1481.
 (5) 王志剛・堂田邦明・春山義夫・横井信安, 機論, **65-636**, C (1999), 3408-3415.
 (6) 王志剛・堂田邦明・春山義夫・横井信安, 機論, **66-646**, C (2000), 2024-2031.
 (7) 王志剛・堂田邦明・鄭永勲・春山義夫, 機論, **67-664**, C (2001), 3985-3991.
 (8) Dohda, K., Saito, M. and Kawai, N., *Int. Conf. Recent Advances Science Eng. Light Metals*, (1991-10), 755-760, Sendai.