

© 1991 ISIJ

技術報告

合金化溶融亜鉛めっき鋼板のプレス成形性に
及ぼす潤滑剤種類の影響

園 田 栄*・奥 村 泰 雄*

Effect of Kind of Lubricants on Press Forming Ability
of Galvannealed Steel Sheets

Sakae SONODA and Yasuo OKUMURA

Synopsis :

Effect of kind of lubricants on press forming ability of galvannealed steel sheets, which is susceptible to powdering, was investigated by cylindrical shell draw test, drawbead test and Bowden's friction test.

The lubricity was found highest in the case of using phosphate coating + soap, followed by press lubricants, solid lubricants, resin and rust preventive oil in this order.

The correlation coefficients between the results obtained by each test were found to be relatively high and the influence of powdering on lubricity was not observed.

Key words : lubrication ; press forming ; lubricant ; evaluation powdering ; galvannealed steel sheets.

1. 結 言

近年、自動車車体用には各種表面処理鋼板が用いられ
ており、特に亜鉛めっき鋼板が多用されている。最近で
は更に耐食性向上を目標として、めっき厚みの増加が進
み、これに伴いパウダリング (Powdering) とフレーキ
ング (Flaking) が発生することによる部品の表面欠陥の
問題と、摩擦条件が変わり、しわや破断が起こりやす
くなるという問題が生じ、プレス成形性に影響を及ぼし
ている。小野寺¹⁾はパウダリングが自由変形を基本原因と
する損傷であり、フレーキングが摺動現象を基本原因と
する損傷であるため、電気亜鉛めっき鋼板、溶融亜鉛め
っき鋼板のような、延性に富んでいてバルクの大変形に
対する表面層の追従性が良いめっき鋼板は、パウダリン
グは生じにくい、摺動によって軟らかい表面層が掘り起
こされ大規模なフレーキングを生じやすいこと、Zn-Ni
合金電気亜鉛めっき鋼板、合金化溶融亜鉛めっき鋼板
のような表面層が硬いめっき鋼板は、摺動には強いが、
表面層の延性が不足してバルクの延性に追従できずに、
微粉を発生してパウダリングを生じやすいこと、またド
ロービード試験 (Drawbead test) が損傷傾向を全般的
に評価するのに適していることを報告している。

各めっき鋼板の摩擦挙動に関しては数多くの研究^{1)~9)}
が発表され、摩擦特性の評価方法として一般に単純な摺
動試験、プレス成形をシミュレートした円筒深絞り試験
(Cylindrical shell draw test)、角筒絞り試験 (Square
shell draw test)、ドロービード試験 (Drawbead test)、
U 曲げ試験 (U-bending test) 等が用いられる。

本研究においては、パウダリングが発生しやすいと言
われている合金化溶融亜鉛めっき鋼板を用い、潤滑剤種
類がプレス成形性に及ぼす影響を調査した。潤滑性に及
ぼすパウダリングの影響も併せて調べるために、試験方
法としてパウダリングの発生程度が異なる、円筒深絞り
試験、ドロービード試験、パウデン試験を採用した。ま
た、各試験間の相関性についても調べた。

2. 実 験 方 法

2.1 供試材

市販の合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (両面めっき、目付
量 45/45 g/m²、板厚 0.8 mm のもの) を使用した。

なお、機械的性質は、TS 値 = 30.3 kgf/mm²、YP 値
= 17 kgf/mm²、El 値 = 45%、 r 値 = 1.83 である。

Table 1 に実験で使用した潤滑剤の種類と物性 (40°C
での動粘度) を記載した。

平成 2 年 11 月 9 日受付 (Received Nov. 9, 1990)

* 日本パーカラライジング(株)総合技術研究所 (Central Research Laboratories, Nihon Parkerizing Co., Ltd., 2784 Ookami
Hiratsuka 254)

Table 1. Kind and property of lubricants.

	Sample	Viscosity (40°C)	Lubricants and additives
No. 1	Rust preventive oil A	12 cSt	Sulfur extreme-pressure additive
No. 2	Rust preventive oil B	17 cSt	
No. 3	Press oil A	100 cSt	
No. 4	Press oil B	80 cSt	Phosphoric ester
No. 5	Press oil C	40 cSt	Ester+Sulfur extreme-pressure additive
No. 6	Wax	7 cSt	Ester
No. 7	Resin	—	Acrylic resin
No. 8	Solid lubricating film A	—	Graphite oil
No. 9	Solid lubricating film B	—	Molybdenum disulfide powder
No. 10	Phosphate film A	—	Phosphate film+Soap
No. 11	Phosphate film B	—	Phosphate film+Rust preventive oil A

Table 2. Phosphating condition.

Process	Chemicals	Concentration	Temperature	Time	Method
Degreasing	FC-L4480	18 g/l	40°C	2 min	Spray
Water rinsing	Tap water		RT	20 s	Spray
Surface conditioning	PL-ZTH	1.4g/l	RT	20 s	Spray
Phosphating	PB-L3080	Total acid 23pt Free acid 1pt Accelerator 3pt	43°C	2 min	Dip
Water rinsing	Tap water		RT	20 s	Spray
D. I. water rinsing	Deionized water		RT	20 s	Spray
Drying	Heated air oven		100°C	5 min	Spray

供試材はトリクロロエタンで蒸気脱脂し、表面の油、ごみ等を完全に除去した後、潤滑剤をロール絞り機にて 2 g/m^2 目標で塗布した。

なお、プレス油 A は $1.5, 3.0, 4.0 \text{ g/m}^2$ 、ワックスは $0.5, 1.0, 3.0 \text{ g/m}^2$ の付着量水準も試験した。

なお、粘度の高いプレス油 A とプレス油 B および常温で固形のワックスについては、加熱して塗布した。二硫化モリブデン粉末はトリクロロエタン脱脂した板に粉末をこすりつけて 2 g/m^2 目標で塗布した。アクリル樹脂は塗布乾燥して塗膜を形成した。

供試剤 No. 1 の防錆油 A、供試剤 No. 2 の防錆油 B、供試剤 No. 5 のプレス油 C、供試剤 No. 6 のワックスは、現在、合金化溶融亜鉛めっき鋼板に塗布され、自動車用防錆潤滑剤として使用されている。その他は強加工用潤滑剤として市販されている。なお、りん酸塩皮膜+石鹼、固体潤滑剤系は、実際の自動車鋼板用潤滑剤に適用するのは工程的に困難であり、ワックス系、または油系が使用される。

りん酸塩皮膜については、Table 2 に示すような工程で皮膜重量 2 g/m^2 目標で供試材上に形成した。また、りん酸塩皮膜+防錆油 A のサンプルはりん酸塩皮膜形成後、 2 g/m^2 目標で防錆油 A を塗布した。りん酸塩皮膜+石鹼のプロセスで石鹼の処理条件はパループ 235 を 70 g/l に調整し、 80°C で 3 min ディップして行った。付着量は約 3 g/m^2 である。

2.2 潤滑試験方法

次に、試験方法について説明する。潤滑剤の性能評価方法として、円筒深絞り試験、ドロービード試験、バウ

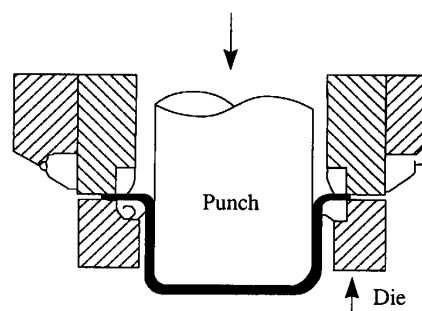


Fig. 1. Schematic drawing of cylindrical shell draw tester.

デン試験の 3 とおりの試験方法を用いた。以下に詳しい試験条件について述べる。

2.2.1 円筒深絞り試験

Fig. 1 に円筒深絞り試験機の概略図を示す。円筒深絞りの条件について以下に述べる。

(1) ダイス

材質：SKD 11

径： $42.9 \text{ mm}\phi$

肩 $r: 8 \text{ mm}$

(2) ポンチ

材質：SKD 11

径： $39.8 \text{ mm}\phi$

肩 $r: 8 \text{ mm}$

(3) 絞り速度： 400 mm/min

(4) 金型温度：室温

(5) しわ押さえ力： $0.5, 1.5, 2.5 \text{ t}$ の 3 水準

(6) ブランク径： $85, 90, 95, 98, 100 \text{ mm}\phi$ の 5 水

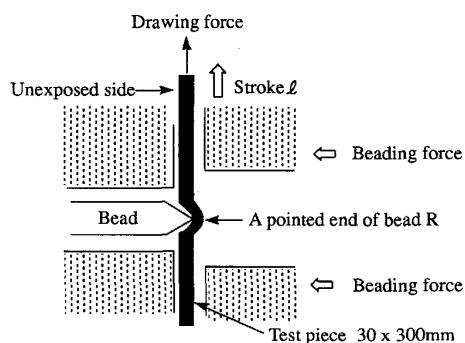


Fig. 2. Schematic drawing of drawbead tester.

準

潤滑剤の潤滑性は、しわ押さえ力 (t) を変えた時の限界絞り比で評価した。限界絞り比は破断しないで深絞りができる時の最大のプランク径/ボンチ径の比で求められる。

パウダリングの発生状況については、試験後の供試材のダイス側側面の表面の粉をセロテープで剥離し、セロテープの外観で判定した。評価は、次のように行った。

○ はっきり認められる (テープが黒くなる)

△ わずかに発生が認められる

× 発生が認められない

なお、潤滑性、パウダリングとも試験は $n=3$ で行った。

2.2.2 ドロービード試験

Fig. 2 にドロービード試験機の概略図を示す。ドロービード試験の条件を以下に述べる。

- (1) ビード高さ: 4 mm
- (2) ビード先端 r : 1 mm
- (3) 圧着幅: 5 mm
- (4) 圧着ダイス肩 r : 2 mm
- (5) ストローク: 100 mm
- (6) 引抜き速度: 360 mm/min
- (7) 金型温度: 室温
- (8) 圧着荷重: 0.5 t から 1.7 t まで変えた。
- (9) 供試材の寸法: 30 mm × 300 mm

潤滑剤の潤滑性は、圧着荷重 (t) を 0.1 t 刻みで上げた時の平均引抜き荷重 (t) を測定し、板が破断した時の圧着荷重 (t) を限界圧着荷重 (t) として求めた。

パウダリングの発生状態については試験後の供試材のビード接触部の表面の粉をセロテープで剥離し、セロテープの外観で判定した。評価は、円筒深絞り試験に準じた。

なお、試験は $n=3$ で行った。

2.2.3 バウデン試験

Fig. 3 にバウデン試験機の概略図を示す。バウデン試

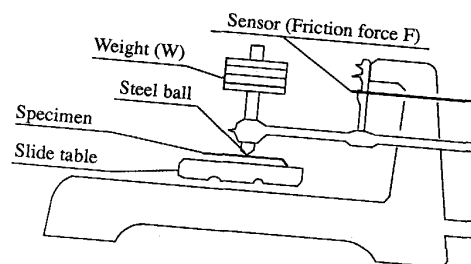


Fig. 3. Schematic drawing of bowden's friction tester.

験の条件を以下に示す。

(1) 圧着子

材質: SUJ-2

鋼球径: 10 mm ϕ

(2) 圧着荷重: 1 kg

(3) 摺動速度: 10 mm/s

(4) 摺動距離 (ストローク): 20 mm

(5) 板温: 室温

(6) 供試材の寸法: 70 mm × 150 mm

潤滑剤の潤滑性は摺動時の動摩擦係数から評価した。動摩擦係数は摩擦力 (F)/圧着荷重 (W) の比で求めた。

なお、試験は $n=3$ で行った。

3. 実験結果と考察

3.1 円筒深絞り試験結果

3.1.1 潤滑剤の種類の影響

Fig. 4 にしわ押さえ力 0.5, 1.5, 2.5 t の時の潤滑剤別の円筒深絞り試験結果 (限界絞り比) を示した。

しわ押さえ力 0.5 t の時の試験結果では、供試剤 No. 10 のりん酸塩皮膜+石鹼が限界絞り比 2.45 と最も良好であり、つづいて供試剤 No. 3 のプレス油 A と供試剤 No. 5 のプレス油 C (エステル+イオウ系極圧剤添加) が 2.375 であった。供試剤 No. 2 の防錆油 B (いおう系極圧剤添加)、供試材 No. 4 のプレス油 B (りん酸エステル添加)、供試剤 No. 6 のワックス、供試剤 No. 8 の油性黒鉛、供試剤 No. 9 の二硫化モリブデン粉末は 2.25 と同等であった。一方、供試剤 No. 1 の防錆油 A、供試剤 No. 7 のアクリル樹脂、供試剤 No. 11 のりん酸塩皮膜+防錆油 A は限界絞り比が 2.125 と劣っていた。

また、固体潤滑皮膜のワックス、油性黒鉛、二硫化モリブデン粉末のような比較的摩擦係数の低いものが良好であった。

りん酸塩皮膜系では摩擦係数が最も低い石鹼塗布のものが特に優れており、りん酸塩皮膜+防錆油 A は防錆

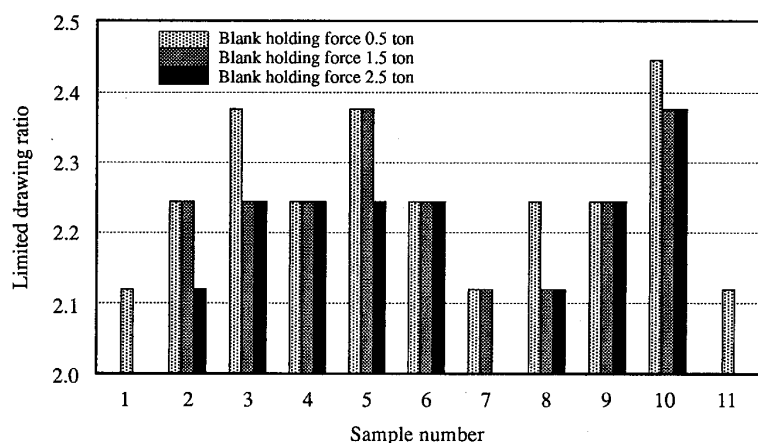


Fig. 4. Results of cylindrical shell draw test with various lubricants.

油 A 単体と差がなく、りん酸塩皮膜の効果は出ていなかった。

アクリル樹脂は、塑性加工に対する追随性が不十分であり、皮膜にき裂が生じて、性能が劣っていると考えられる。

しわ押さえ力 1.5 t の時の試験結果でも、りん酸塩皮膜+石鹼とプレス油 C が限界絞り比 2.375 で最も良好であった。つぎに、防錆油 B、プレス油 A、プレス油 B、ワックス、二硫化モリブデン粉末が 2.25 で同等であった。アクリル樹脂と油性黒鉛は 2.125 であり、防錆油 A とりん酸塩皮膜+防錆油 A は深絞りができず、限界絞り比が求められなかった。

タイプ別の傾向はしわ押さえ力 0.5 t の時とほぼ同じであった。

しわ押さえ力 2.5 t の時の試験結果では、りん酸塩皮膜+石鹼が限界絞り比 2.375 で最も良好であり、つぎにプレス油 A、プレス油 B、プレス油 C、ワックス、二硫化モリブデン粉末が 2.25 で同等であった。防錆油 B と油性黒鉛は 2.125 で、防錆油 A、アクリル樹脂、りん酸塩皮膜+防錆油 A は深絞りができず、限界絞り比が求められなかった。

タイプ別の傾向はしわ押さえ力 0.5 t の時とほぼ同じであった。

しわ押さえ力を上げて 2.5 t まで絞り条件を厳しくすると深絞りできない潤滑剤が出てくる。

潤滑剤の中では供試剤 No. 10 のりん酸塩皮膜+石鹼が最も良好であった。つぎに、供試剤 No. 5 のプレス油 C、供試剤 No. 3 のプレス油 A が良好であった。また、供試剤 No. 4 のプレス油 B と供試剤 No. 6 のワックス、供試剤 No. 9 の油性黒鉛はしわ押さえ力を 0.5 t から 2.5 t まで変えても、理由は定かではないが、限界絞り比は 2.25 であった。

ただし、全体の傾向としては、しわ押さえ力 0.5 t の

Table 3. Results of powdering condition with various tests.

Sample number	Cylindrical shell draw test			Drawbead test
	Blank holding force (t)			
	0.5	1.5	2.5	
No. 1	○	○	×	×
No. 2	○	○	△	×
No. 3	○	○	△	×
No. 4	○	○	△	×
No. 5	○	○	△	×
No. 6	○	○	△	×
No. 7	○	○	△	×
No. 8	○	○	△	×
No. 9	○	○	△	×
No. 10	○	○	△	×
No. 11	○	○	△	×

時に良好であった潤滑剤は 2.5 t の時でも良好な性能を示したので、今回設定したどの条件でも、潤滑性の評価ができることがわかった。

パウダリングの発生状況については、Table 3 に示すように、しわ押さえ力を変えても潤滑剤の種類で差がなかった。ただし、しわ押さえ力を上げるとパウダリングの発生が増える傾向にあった。

3.1.2 付着量の影響

Fig. 5 に一般的に用いられる代表的な例として、プレス油 A とワックスを選定し、付着量と円筒深絞り性能の関係を調査した結果を示す。

その結果、プレス油 A は、しわ押さえ力が 1.0 t 以上の時は、1.5 から 3.0 g/m² まで付着量を変えても、限界絞り比に差がないが、4.0 g/m² になると 2.25 から 2.375 へ限界絞り比が上がり、付着量アップの効果が見られた。原因として、円筒深絞り加工の時の工具と材料の間の油の持込み量が多くなったためと考えられる。

一方、ワックスは付着量を 0.5 から 3.0 g/m² まで変えても、限界絞り比は 2.25 のままで変わらず、付着量の影響はなかった。原因として、常温で固形のため、工具へのワックスの持込みが多く、付着量が少なくても、

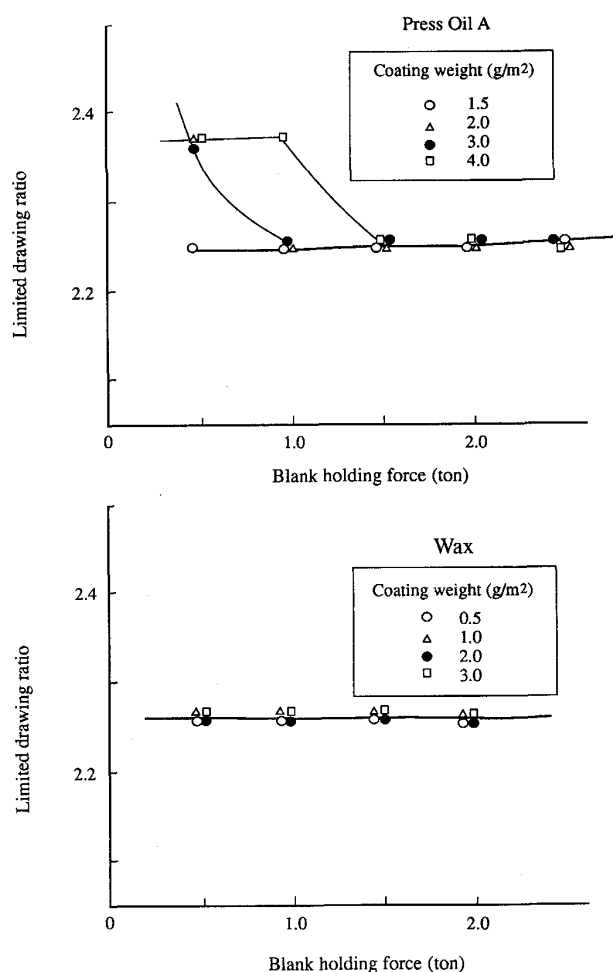


Fig. 5. Results of cylindrical shell draw test with different coating weight of press oil and wax.

油のように工具と材料間の保持性が悪くなく、性能に差が出なかったと考えられる。

3.2 ドロービード試験結果

3.2.1 潤滑剤の種類の影響

Fig. 6 に潤滑剤別のドロービードテストにおける限界圧着荷重（以後ドロービード性と記す）の試験結果を示した。

その結果、今回試験した潤滑剤の中では、供試剤 No. 10 のりん酸塩皮膜+石鹼が限界圧着荷重 1.7 t と最も良好な性能を示し、つぎに供試剤 No. 4 のプレス油 B（りん酸エステル添加）と供試剤 No. 6 のワックスが 1.6 t、供試剤 No. 9 の二硫化モリブデン粉末が 1.5 t、供試剤 No. 5 のプレス油 C（エステル+いおう系極圧剤添加）と供試剤 No. 8 の油性黒鉛が 1.4 t、供試剤 No. 2 の防錆油 B（いおう系極圧剤添加）は 1.1 t であったが、供試剤 No. 7 のアクリル樹脂と供試剤 No. 11 のりん酸塩皮膜+防錆油 A は 0.9 t、供試剤 No. 1 の防錆油 A は 0.7 t と性能が劣っていた。

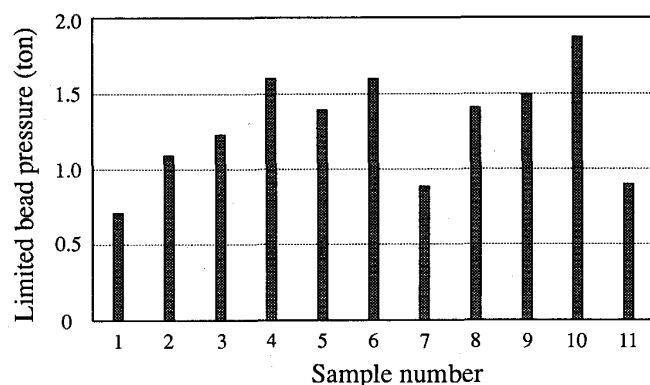


Fig. 6. Results of drawbead test with various lubricants.

今回の試験で、破断時の平均引抜き荷重を調べると、いずれも約 720 kgf の力がかかった時に板破断を起こしており、30 mm × 300 mm で板厚 0.8 mm のテストピースを使用していることより、 $720 \text{ kgf} \div 30 \text{ mm} \div 0.8 \text{ mm} = 30 \text{ kgf/mm}^2$ の力がかかると破断することになる。この力は板の抗張力に相当するため、平均引抜き荷重の変化をみることで、どこで破断を起こすか推定できる。

また、パウダリングについては、Table 3 に示すようにすべて発生し、円筒深絞り試験と同様に潤滑剤による差は認められなかった。

この理由としては、パウダリングが潤滑剤の良しあしに関係なく材料表面のめっき状態に大きく影響されるためと考えられる。

従って、パウダリングについては、別途試験方法について検討する必要がある。

今回、採用した試験方法は各種潤滑剤の潤滑性の評価にとどまった。

3.2.2 付着量の影響

Fig. 7 に一般的に用いられる代表的な例として、プレス油 A とワックスについて付着量とドロービード性の関係を調査した結果を示す。

その結果、プレス油 A、ワックスとも付着量を上げることにより、最初の値よりも限界圧着荷重がおおよそ 0.2 t ほど上昇しており、付着量の効果が出ていた。円筒深絞り試験とドロービード試験での加工の差が出たと考えられる。

3.3 バウデン試験結果

Fig. 8 に潤滑剤別のバウデン性能（摩擦係数）の結果を示した。

その結果、摩擦係数は供試剤 No. 10 のりん酸塩皮膜+石鹼が 0.06 で最も低く、次に供試剤 No. 9 の二硫化モリブデン粉末が 0.08、供試剤 No. 4 のプレス油 B

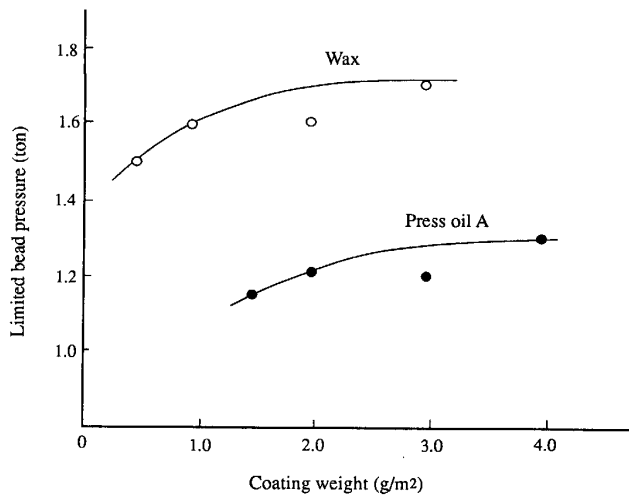


Fig. 7. Results of drawbead test with press oil A and wax.

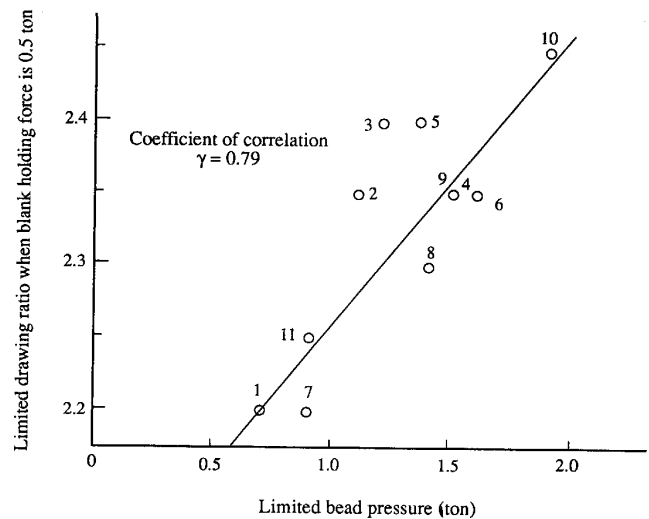


Fig. 9. Relation between cylindrical shell draw test drawbead test.

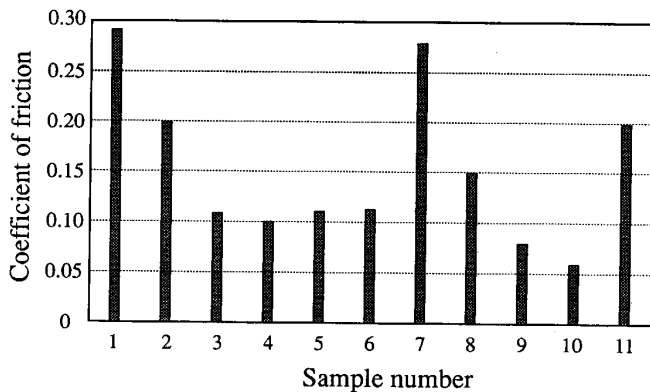


Fig. 8. Results of coefficient of friction with various lubricants.

(りん酸エステル添加)が0.10, 供試剤 No. 6 のワックス, 供試剤 No. 3 のプレス油 A, No. 5 のプレス油 C (エステル+いおう系極圧剤添加)が0.11であった。また, 供試剤 No. 8 の油性黒鉛は0.15, 供試剤 No. 2 の防錆油 B (いおう系極圧剤添加)と供試剤 No. 11 のりん酸塩皮膜+防錆油 A は0.20であり, 供試剤 No. 7 のアクリル樹脂は0.28, 供試剤 No. 1 の防錆油 A は0.29と非常に高い値を示した。

なお, パウダリングについては, どの潤滑剤でも発生しなかった。

3.4 各潤滑試験方法間の相関性

Fig. 9 に円筒深絞り性 (しわ押さえ力 0.5 t 時の限界絞り比) とドロービード性 (限界圧着荷重) の相関性を調査した結果を示す。

その結果, 両者の間に相関関数 0.79 とかなりの相関性があることがわかった。

Fig. 10 にドロービード性 (限界圧着荷重) とパウデ

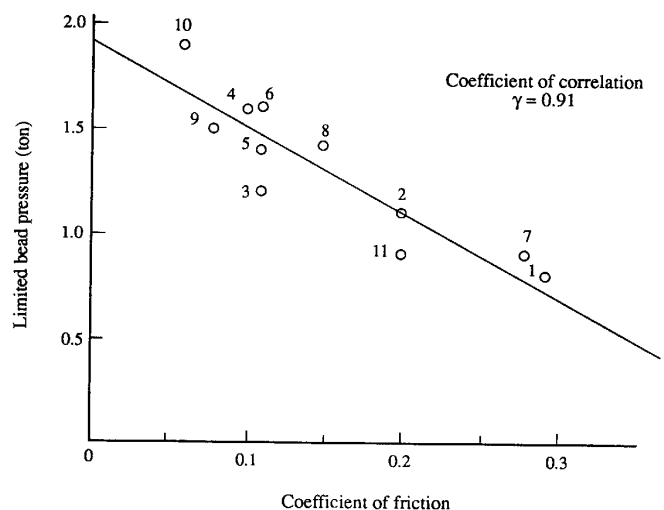


Fig. 10. Relation between drawbead test and Bowden's friction test.

ン性 (摩擦係数) の相関性を調査した結果を示す。

その結果, 両者の間に相関関数 0.91 とかなり高い相関性があることがわかった。

Fig. 11 に円筒深絞り性 (しわ押さえ力 0.5 t 時の限界絞り比) とパウデン性 (摩擦係数) の相関性を調査した結果を示す。

その結果, 両者の間に相関係数 0.90 とかなり高い相関性があることがわかった。

各種潤滑剤の評価をパウダリングが発生しやすい評価法である円筒深絞り試験とドロービード試験とパウダリングが発生しにくいパウデン試験で行ったところ, この3種類の試験方法で潤滑性についてはかなりの相関性が認められた。

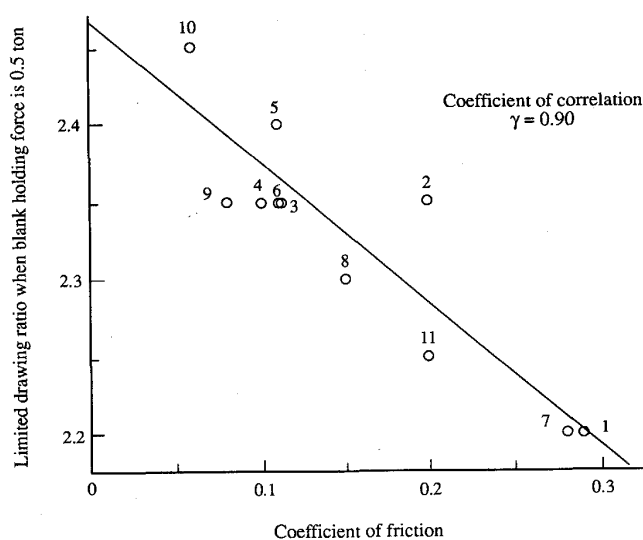


Fig. 11. Relation between cylindrical shell draw test and Bowden's friction test.

4. 結 論

本実験結果より、以下の結論を得た。

(1) 潤滑剤について、いろいろなタイプのものを評価したが、りん酸塩皮膜+石鹼が最も良好な潤滑性を持つ

ていることがわかった。次にプレス油 A、プレス油 B、プレス油 C のような油系、ワックス、二硫化モリブデン粉末のような固体潤滑剤系が良好であった。

(2) 表面処理鋼板用潤滑剤のプレス性の評価方法として、円筒深絞り試験、ドロービード試験、パウデン試験での試験結果の間かなりの相関性が認められており、これらの試験結果での評価がほぼ同じ傾向となったことより、いずれの試験でも潤滑剤の大まかな性能レベルを判定できる。

今回の試験範囲では、潤滑性に及ぼすパウダリングの影響は認められなかった。

文 献

- 1) 小野寺健次, 池 浩: 塑性と加工, **26** (1985), p. 416
- 2) 森下忠見, 芹沢義久: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 386
- 3) 由田征史, 尾野 忠, 菱田祐次, 久恒智彦: 同上, p. 390
- 4) 臼田松男, 大上哲郎, 橋本浩二, 滝田道夫: 同上, p. 394
- 5) 比良隆明, 玉利孝則, 鏈田征雄, 安田 顕, 細田 博: 同上, p. 398
- 6) 林 豊, 須藤忠三, 坂根 正: 同上, p. 402
- 7) 酒井伸彦, 板橋雅巳, 内田幸夫, 石川半二, 島田嘉晃: 同上, p. 406
- 8) 浦井正章, 岩谷二郎, 有村光史, 堺 裕彦, 宮原征行: 同上, p. 410
- 9) 林 央: 第 41 回塑性加工連合講演会 (1990), p. 47