

ステンレス鋼用高性能冷間鍛造油の開発

大森俊英，北村憲彦

Development of High Performance Cold Forging Oil for Stainless Steel

Toshihide Ohmori, Kazuhiko Kitamura

要 旨

既存のステンレス鋼用冷間鍛造油にない，優れた焼付き防止性能と鉄系材料に対する低腐食性とを両立した高性能な潤滑油を開発した。本文は，その開発過程ならびに開発油の特徴をまとめたものである。

ステンレス鋼の冷間鍛造における潤滑油の焼付き防止性能の評価に適したテーパプラグ通し試験法を考案し，焼付き防止に優れた試料油の組成について検討した。その結果，CI系添加剤とP系油（リン酸およびオレイルアシッドホスフェートを含む）とを配合した試料油が，両者の相乗効果によって，既存の冷間鍛造油を大きくしのぐ優れた性

能を示すことを見いだした。また，CI系添加剤とP-Zn系油（P系油に更にリン酸亜鉛を配合したもの）とを組み合わせた試料油においては，鉄系材料に対して赤錆を生じさせることのない低腐食性をも有していることを明らかにした。

このCI系添加剤とP-Zn系油を配合した新規なステンレス鋼用冷間鍛造油は，実機試験においても，優れた焼付き防止性能を示す一方，腐食による問題を生じることはなかった。本開発油を採用した生産ラインでは，コスト，生産性および生産環境等に関して多大なメリットを生じている。

Abstract

High performance cold forging oil for stainless steel has been developed to realize the galling prevention property superior to those of present commercial oils and low corrosiveness against ferrous materials. The effect of extreme pressure additives on the galling prevention has been investigated using the tapered plug penetration method. As a result, sample oils containing a CI-type additive (stearic acid trichloride) and P-type additives (phosphoric acid and oleyl acid phosphate) were found to exhibit an excellent galling prevention property due to the synergistic effect of both types of

additives. It was discovered that adding zinc phosphate into the oil suppressed the corrosiveness of the oil without reducing the galling prevention property. The target of the development has been satisfactorily accomplished by the composition of the additives including stearic acid trichloride, phosphoric acid, oleyl acid phosphate and zinc phosphate. The developed oil showed excellent performance in practical cold forging tests. The production line using the developed oil has brought enormous benefits to the cost, productivity and production environment.

キーワード

冷間鍛造，潤滑油，ステンレス鋼，焼付き，腐食

1. はじめに

ステンレス鋼は、一般的に、普通鋼に比べて耐食性ならびに高温強度に優れている。したがって、機械部品の耐久性や信頼性を向上させるために、材質を普通鋼からステンレス鋼に変更したいという要求がある。ステンレス鋼は変形抵抗が大きく、化学的に不活性なため、鍛造加工時に焼付きを生じやすく、これを防止する潤滑技術が鍵とされていた。

現在、ステンレス鋼の冷間鍛造用潤滑剤としては、金属石ケンとシュウ酸塩とを組み合わせた複合被膜（以後、金属石ケン/シュウ酸塩被膜）が一般的に用いられている¹⁾。それは、この潤滑剤が、ステンレス鋼の冷間鍛造において優れた焼付き防止性能を示すことによる。しかし、金属石ケン/シュウ酸塩被膜の形成には煩雑な処理工程が必要である。また、バッチ処理であるため、生産工程の連続性が途切れてしまうという欠点もある。

ステンレス鋼用の潤滑剤として、焼付き防止のための塩素系や硫黄系の極圧添加剤が配合された潤滑油も用いられている。潤滑油を用いた場合には、潤滑法が簡便であり、コストおよび生産工程上大きなメリットがある。しかし、焼付き防止性能に関しては、金属石ケン/シュウ酸塩被膜に比べて劣るため、その使用は軽度の加工に限られている。また、塩素系潤滑油の場合には、プレスおよび周辺装置の鉄系材料部分に赤錆を生じさせやすいという欠点もある。したがって、焼付き防止性能に優れ、鉄系材料に対する腐食性の低いステンレス鋼用の冷間鍛造油が強く求められている。

このような背景のもと、当所において、既存のステンレス鋼用冷間鍛造油をしのぐ高性能な潤滑油の開発を行った。開発過程で得られた知見ならびに開発油の特徴を以下にまとめる。

2. 鍛造性能の実験室的評価

冷間鍛造の実験室的な評価試験法としては後方せん孔試験²⁾、前方押出し試験³⁾および当所で考案したボール通し試験などがある^{4, 5)}。しかし、加工条件が厳しすぎる、試験が繁雑であるなどの理由から、これらの試験法はステンレス鋼用の冷間鍛

造油開発のための評価試験に適しているとはいえない。それゆえ、ステンレス鋼の冷間鍛造において潤滑油の焼付き防止性能を適切かつ簡便に評価できる試験法としてテーパプラグ通し試験法⁶⁾を新たに考案した。

2.1 テーパプラグ通し試験法

テーパプラグ通し試験の型構成をFig. 1に示す。被加工材としてSUS430製円筒形試片を、工具に相当するものとしてテーパころ軸受用のSUJ2製テーパころ（テーパプラグ）をそれぞれ用いた。テーパプラグは、規格品として精度の良いものが安価に市販されているので、試験ごとに新しいものを用いることができる。そのため、後方せん孔試験および前方押出し試験と異なり、工具の交換および修復にかかる手間は不要である。また、ボール通し試験と比べて、工具（テーパプラグもしくはボール）と試片との接触角が小さく、摩擦界面に潤滑油が導入されやすいため、摩擦条件の厳しいステンレス鋼を対象とした場合の潤滑油の焼付き防止性能の分離性に優れている。試片の硬さおよび表面粗さは、それぞれHV195および $R_{max}5 \sim 10\mu m$ である。また、テーパプラグの硬さおよび表面粗さは、 $H_R C59$ および $Ra < 0.05\mu m$ である。

試料油を塗布した後コンテナ内にセットした試

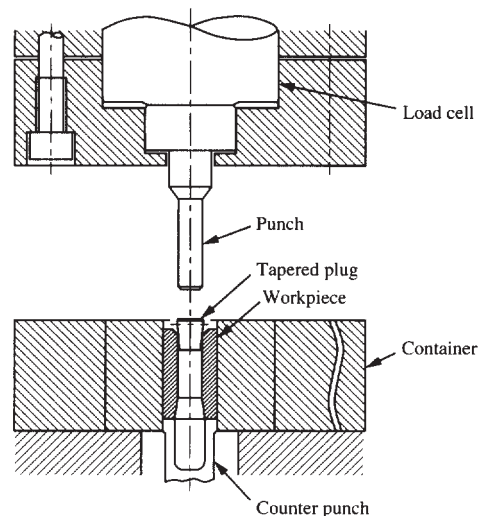


Fig. 1 Tapered plug penetration test.

片に、その内径よりも大きな最大直径を有するテーパプラグを押し込み貫通させる。それにより、試片は内径が拡大し、軸方向に伸びる変形を受ける。Table 1に示すように、テーパプラグ直径 D_t と試片内径 D_i との組み合わせを変えることによって、加工に伴い試片の断面積が減少する割合（減面率 R ）を1, 4, 6, 9%と段階的に変化させた。試験後のテーパプラグ表面を観察することによって、焼付きを生じることなく加工できた最大の減面率 $\max R$ を判定し、その値によって試料油の焼付き防止性能を評価した。なお、試験上限の減面率9%でも焼付きを生じなかった場合には、便宜上 $\max R$ 9%とした。試験には2.45MNナックルジョイントプレスを用いた。平均加工速度は370mm/sである。

テーパプラグ通し試験後のテーパプラグの表面状態の例をFig. 2に示す。(a)は焼付きを生じなかった場合、(b)は焼付きを生じた場合である。焼付きはテーパプラグの最大直径部分から摩擦方向前面

Table 1 Reduction in cross-sectional area of workpiece (R) in tapered plug penetration test.

$$R = \frac{D_t^2 - D_i^2}{30^2 - D_i^2} \times 100$$

D_t : Diameter of tapered plug

D_i : Inside diameter of workpiece

R, %	D_t , mm	D_i , mm
1	18.1	18.0
4	18.1	17.5
6	18.1	17.0
9	18.1	16.5

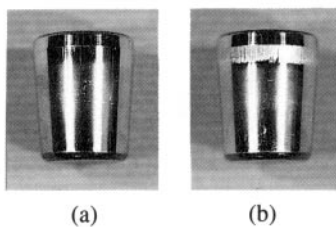


Fig. 2 Appearances of tapered plugs after tapered plug penetration test.

にかけての被加工材の激しい凝着として生じている。

2.2 既存潤滑剤の焼付き防止性能

テーパプラグ通し試験によって評価した無添加鉱油、市販冷間鍛造油および金属石ケン/シュウ酸塩被膜の焼付き防止性能をFig. 3に示す。市販冷間鍛造油としては、焼付き防止のために配合されている極圧添加剤のタイプが、S系（1種類）、P系（1種類）、CI系（2種類）およびS-CI系（6種類）と異なる、合計10種類を用いた。

市販冷間鍛造油および無添加鉱油の性能が3水準に分離されている。ここで、ボール通し試験では、これらの試料油の焼付き防止性能を分離して評価することはできなかった。これらの結果は、テーパプラグ通し試験がステンレス鋼の冷間鍛造における潤滑油の焼付き防止性能の評価に適していることを示すものである⁶⁾。

極圧添加剤が配合された市販冷間鍛造油は、無添加鉱油に比べて全般的に優れた焼付き防止性能を示している。その中でも、CI系の添加剤を含んだものが優れており、最高性能のもので $\max R$ は4%である。それに対して、金属石ケン/シュウ酸塩被膜処理の $\max R$ は9%である。したがって、従来の潤滑油は最高性能のものでも金属石ケン/シュウ酸塩被膜処理に比べると大きく劣っていると いわざるを得ない。

以上の既存潤滑剤の性能評価結果から、市販油

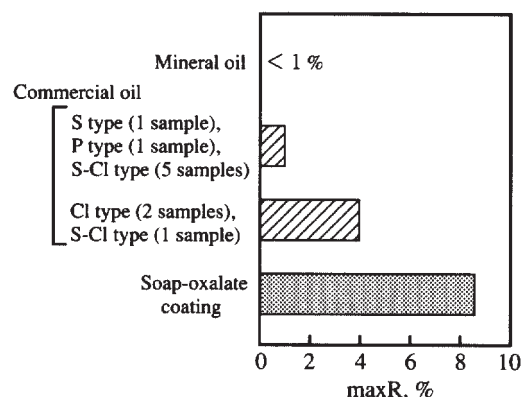


Fig. 3 Galling prevention property of commercial lubricants evaluated by tapered plug penetration test.

最高性能品のmaxR4%を超え、金属石ケン/シユウ酸塩被膜処理のmaxR9%に迫ることを本研究での開発目標に設定した。

3. 焼付き防止に優れた添加剤の選択と組み合わせ

冷間鍛造油の焼付き防止性能は、主に配合された極圧添加剤に依存する。それゆえ、焼付き防止性能に優れた冷間鍛造油の開発に当たっては、極圧添加剤の選択が最も重要なポイントとなる。各種極圧添加剤の焼付き防止性能を把握した後、Cl系添加剤とP系添加剤との相乗効果に着目した検討を行った⁷⁻⁹⁾。

3.1 単一添加系の性能

添加剤には、Table 2に示すCl系（4種類）、S系（5種類）およびP系（6種類）を用いた。Cl系およびS系添加剤については、添加剤のまま試験に供した。P系添加剤のうち、P-1からP-5については、かなり粘度が低いものも含まれているため、パラフィン系鉱油（96mm²/s at 40°C）に5wt%Pとなるよう

Table 2 Additives used and their galling prevention property.

	No.	Compounds	maxR, %
Cl type	Cl-1	Stearic acid pentachloride	6
	2	Stearic acid trichloride	4
	3	Chlorinated ester	4
	4	Chlorinated paraffin	4
S type	S-1	Trinonyl polysulfide	1
	2	Didodecyl polysulfide	1
	3	Dialkyl polysulfide	1
	4	Sulfurized oleic acid	1
	5	Sulfurized ester	1
P type	P-1	Trioctyl phosphate	1
	2	Diocetyl phosphate	1
	3	Butyl acid phosphate	1
	4	Octyl acid phosphate	1
	5	Oleyl acid phosphate	1
	6	Phosphoric acid and oleyl acid phosphate	4

P-1 ~ P-5: blended to mineral oil at 5 wt%P

P-6: blended to mineral oil at 2.2 wt% of phosphoric acid and 4 wt% of oleyl acid phosphate with heat treatment at 120 for 1 hour

に配合したものを試験に供した。また、P-6は普通鋼の冷間鍛造において優れた焼付き防止性能を示した試料油^{10,11)}の添加剤濃度を増したものである。

テーパプラグ通し試験の結果をTable 2に併記する。無添加鉱油のmaxR1%未満（Fig. 3参照）に対して、添加剤単独もしくは添加剤配合油ではすべての試料において1%以上であり、極圧添加剤による焼付き防止効果が認められる。その中でも、Cl系添加剤がmaxR4ないし6%と優れた性能を示している。また、リン酸とオレイルアシッドオスフェートとを配合した試料油も4%と比較的良好な性能を示している。

3.2 複合添加系の性能

前節で得られた知見をもとに、相乗的な作用を期待し、Cl系添加剤とP系油（P-6）との複合系の焼付き防止性能について検討した。Cl系添加剤としては、maxR6%と最も優れた性能を示した五塩化ステアリン酸（Cl-1）は粘度が高く扱いにくいいため、maxR4%の三塩化ステアリン酸（Cl-2）を用いた。

Cl系添加剤とP系油とを組み合わせることによる焼付き防止性能への影響をFig. 4に示す。Cl系添加剤およびP系油でのmaxRの値は4%である。Cl系添加剤については、添加剤単独の結果である。また、P系油については、添加剤の配合量をさらに増

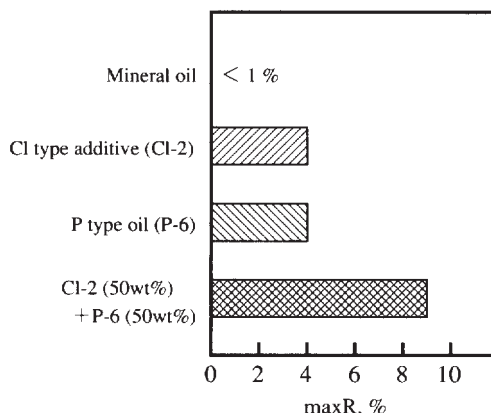


Fig. 4 Synergistic effect between Cl type additive and P type oil.

加させても焼付き防止性能の向上は認められなかった。したがって、maxR4%がそれぞれの系における性能の上限と考えられる。それに対して、Cl系添加剤およびP系油を50wt%ずつ配合した試料油では、maxR9%にまで焼付き防止性能が向上している。これは、両者の配合によって焼付き防止性能に相乗効果を生じていることを示すものである。

このように、Cl系添加剤 (Cl-2) とP系油 (P-6) とを組み合わせた試料油において、既存の冷間鍛造油 (maxR1 ~ 4%) を大きくしのぎ、金属石ケン/シュウ酸塩被膜処理に匹敵する優れた焼付き防止性能を得ることができた。

3.3 複合添加系における作用機構

テーパプラグ通し試験後の試片内面をXPS (X-ray photoelectron spectroscopy) で分析することによって得られたスペクトルの例をFig. 5に示す。(a)のCl系添加剤 (Cl-2) の場合には塩化物、(b)のP系油 (P-6) の場合にはリン酸化合物にそれぞれ起因するスペクトルが得られている。したがって、加工時の試片表面に、Cl系添加剤の場合には塩化鉄¹²⁾が、P系油の場合にはリン酸鉄¹³⁾がそれぞれ形成

されていると考えられる。しかし、(c)のCl系添加剤およびP系油との複合系の場合には、リン酸化合物に起因するスペクトルは得られているものの、塩化物に起因するものは認められない。すなわち、両者の配合によって、試片の表面にはリン酸鉄による反応被膜だけが形成されるものと推察される。

Cl系添加剤 (Cl-2) の配合量を50wt%で一定とし、P系油 (P-6) の配合量を変化させた試料油におけるテーパプラグ通し試験の結果と試験後の試片内面のEPMA (Electron probe microanalysis) 分析の結果をFig. 6に示す。P系油の配合量が多くなるほど、焼付き防止能は向上し、試片表面におけるPの検出量、すなわちリン酸鉄の生成量も増大している。Cl系添加剤 50wt%に対して、P系油が20wt%以上配合されると、Clは検出されておらず、試片表面における塩化鉄の生成は認められなくなる。

P系油の配合量を50wt%一定とし、Cl系添加剤の配合量を変化させた試料油における同様の結果をFig. 7に示す。この場合にも、Cl系添加剤の配合量の増大に伴い、焼付き防止能は向上している。しかし、Cl系添加剤の配合量を増しているにもかかわらず

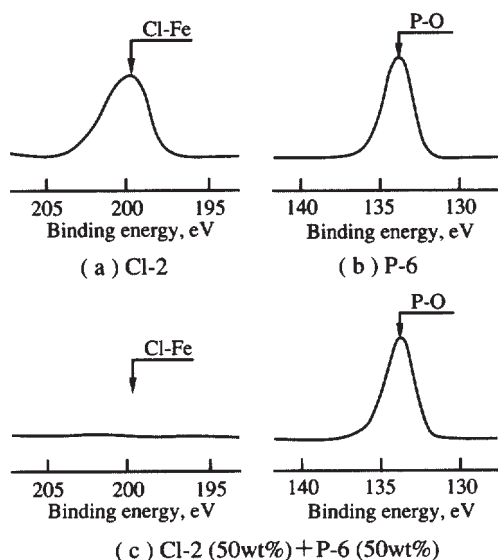


Fig. 5 XPS spectra of workpieces surface after tapered plug penetration test. (R: 4%, Analyzed location: 25mm from top end of workpiece)

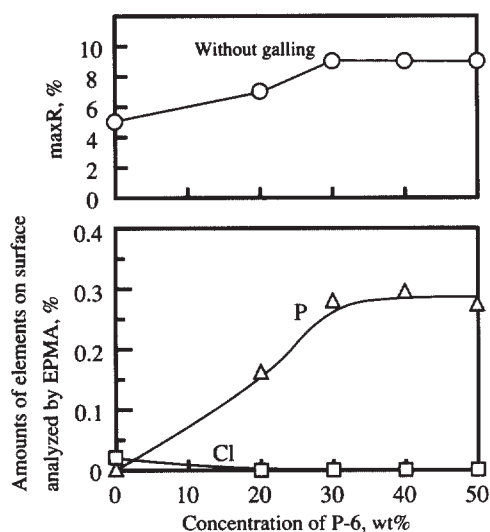


Fig. 6 Influence of P-type oil on galling prevention property and reactivity. (Mixed system with Cl-2 and P-6, Cl-2: 50 wt%)

わらず、塩化鉄の生成は認められず、かえってPの検出量すなわちリン酸鉄の生成量が増大している。

なお、Fig. 6およびFig. 7において、焼付き防止性能と試片表面におけるPの検出量との間に相関が認められる。すなわち、焼付き防止性能は試料油のリン酸鉄を生成する反応性に依存していると解釈される。

SUS430の板状試片を試料油中に浸漬し、所定時間経過後の試片表面での反応量をEPMAで分析することによって行った静的反応試験の結果をFig. 8に示す。

Cl系添加剤 (Cl-2) 中に浸漬した場合にはClが検出されており、塩化鉄の生成が認められる。また、P系油 (P-6) の場合にはPが検出されており、リン酸鉄の生成が認められるが、その量は少ない。それに対して、Cl系添加剤とP系油とを50wt%ずつ配合した試料油では、リン酸鉄は生成しているものの、塩化鉄の生成は認められない。これらは、テーパプラグ通し試験後の試片表面の分析結果と同様のものである。

また、Cl系添加剤中に浸漬することによって塩化鉄の反応被膜を一旦生成させた試片を、引き続

いてP系油中に浸漬した場合には、塩化鉄被膜が消失しているのみならず、単にP系油に浸漬した場合よりも多量のリン酸鉄被膜を生じている。すなわち、ステンレス鋼の表面に一旦塩化鉄の被膜が生成することによって、P系油の反応が促進されると推察される。ただし、そのリン酸鉄の生成量は、Cl系添加剤とP系油の両者を配合した試料油に浸漬した場合に比べるとかなり少ない。これは、一旦生成された塩化鉄の被膜は緻密かつ厚い被膜ではないため、P系添加剤に対する反応活性の低い酸化クロムの被膜が再び一部形成されるためと考えられる。

さらに、P系油に浸漬したSUS430試片の表面をエメリー紙で研磨することによって金属新生面を生じさせた場合には、P系油単独でも多量のリン酸鉄が生成している。

試料油への塩化鉄の溶解度を評価した結果をFig. 9に示す。P系油もしくはP系試料油を含む油は、Cl系添加剤と異なり、少なからず塩化鉄の溶解度を有していることが分かる。したがって、このような試料油は、試片表面に生じた塩化鉄被膜を溶解しうると考えられる。

以上のような検討結果から、Cl系添加剤とP系油の両者を配合した試料油におけるステンレス鋼表面での反応機構は次のように推察される (Fig. 10参照)。

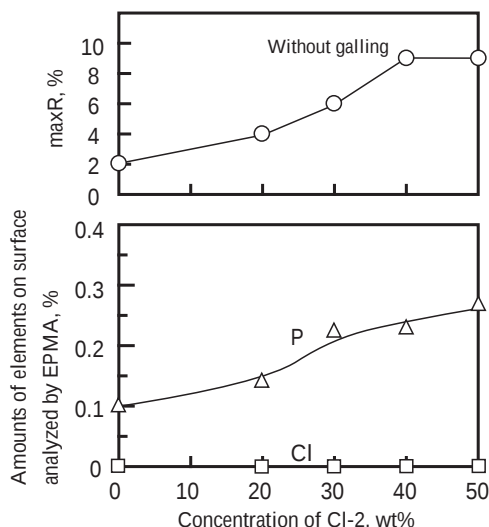


Fig. 7 Influence of Cl-type additive on galling prevention property and reactivity. (Mixed system with Cl-2 and P-6, P-6: 50 wt%)

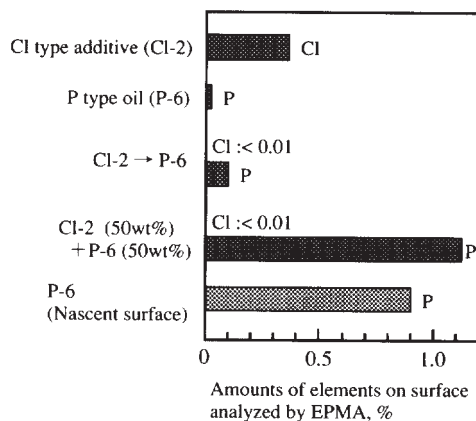


Fig. 8 Results of static reaction test. (SUS430, 120°C × 30min)

P系油に含まれるリン酸エステルおよびリン酸とともに、ステンレス鋼表面に存在する酸化クロム被膜に対する活性が低い。それに対して、Cl系添加剤は酸化クロム被膜を腐食し、下地の鉄部分と反応して表面に塩化鉄被膜を生じる。P系油は塩化鉄の溶解度を有しているため、この塩化鉄被膜を溶解する。Cl系添加剤とP系油との複合系において、試片の表面に塩化鉄が検出されないのはこのためである。表面被膜を失った下地の鉄部分に対しては、P系油中のリン酸エステルおよびリン酸は活性を有している。それゆえ、最終的にはリン酸塩からなる反応被膜およびリン酸エステルによる吸着被膜が試片表面に形成され、それによって焼付きが防止されていると考えられる。すなわち、Cl系添加剤はP系添加剤が有効に機能できるようにステンレス鋼の表面を改質し、その後、P系添加剤が焼付きの防止に有効な表面に更に改質しているとみなすことができる。

ここで、Fig. 7に示したように、P系油の配合量は一定でCl系添加剤の配合量を増しているにもかかわらず、かえってリン酸鉄の生成量が増大したのは、酸化クロムから塩化鉄への表面の改質がCl系添加剤の配合量に依存しているためと考えられる。

4. 鉄系材料に対する腐食の抑制

塩素系添加剤が配合された潤滑油では、冷間鍛造の生産設備および周辺機械の鉄系材料部分に赤

錆による腐食を生じることが問題となっていた。これは、塩素系添加剤が鉄表面で塩化鉄を生成した後、加水分解によって水酸化鉄に変化することによるものである。いかに焼付き防止性能に優れていようと、腐食性の高い潤滑油は実用上好ましくない。従来技術では、焼付き防止性能を低下させることなくこの塩素系添加剤による腐食性を抑制することは困難であった。

ステンレス鋼の冷間鍛造において優れた焼付き防止性能を示す新規な組成であるCl系添加剤とP系油とを配合した試料油の鉄系材料に対する腐食性、および焼付き防止能を低下させることのない腐食抑制法について検討を行った¹⁴⁾。

4.1 優れた焼付き防止性能と低腐食性との両立

試料油の鉄に対する腐食性は、60℃に保持された試料油 (35g) 中にSPCC 試片 (10×40×0.8mm) を14日間浸漬することによって検討した。浸漬終了後脱脂した試片を大気中に数日間放置し、赤錆の発生の有無を判断した。また、別途試験を行い、アセトン洗浄およびクロム酸を用いて試片表面の腐食生成物を除去し、試片重量の初期値からの減少分を求めることにより腐食深さを算出した。

Cl系添加剤 (Cl-2) およびP系油 (P-6) の配合量の異なる試料油における焼付き防止性能および腐食性の評価結果をTable 3に示す。なお、これらの試料油には、実用性を考慮し、Cl系添加剤とP系油との溶解安定性を向上させるため、相溶剤として

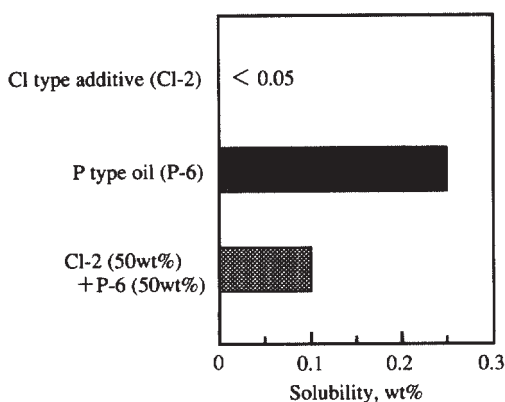


Fig. 9 Solubility of iron chloride to sample oil.
($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 100℃)

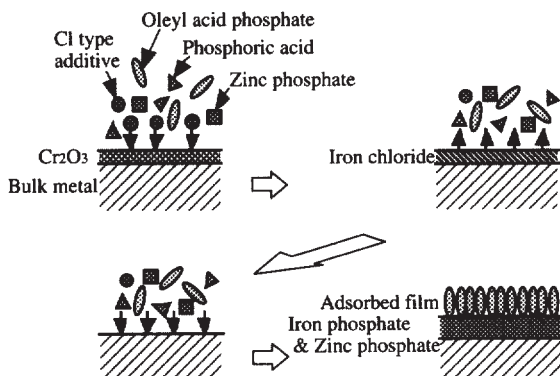


Fig. 10 Reaction mechanism on stainless steel surface.

エポキシ化脂肪酸エステルを5wt%配合した。

Cl系添加剤およびP系油を適当量配合した複合系において、maxR9%の優れた焼付き防止能が得られている。

腐食試験において、Cl系添加剤単独の場合には、市販のCl系添加剤を含む冷間鍛造油と同様に、鉄試片の表面に赤錆を生じている。それに対して、P系油では赤錆を生じていない。複合系においては、Cl系添加剤を含んでいるにもかかわらず赤錆が発生していない。腐食深さについては、相対的に、Cl系添加剤が多くなるほど、P系油が少なくなるほど小さくなっている。しかし、最も腐食深さが小さいものでも市販油のレベルに比べると大きい。

焼付き防止性能を低下させることなく、腐食性を低減する添加剤として、リン酸亜鉛 ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) をリン系油 (P-6) に2wt%配合したP-Zn系油を作製した¹⁵⁾。

Cl系添加剤およびP-Zn系油の配合量の異なる試料油における焼付き防止性能および腐食性の評価結果をTable 4に示す。これらの試料油にも、相溶剤としてエポキシ化脂肪酸エステルを5wt%配合した。

Cl系添加剤とP-Zn系油との複合系においても、Cl系添加剤とP系油との組み合わせの場合と同様に、両者の配合量が適切な場合にmaxR9%の優れた焼付き防止性能が得られている。

Table 3 Gallings prevention property and corrosiveness.

		P type oil (P-6), wt%					
		0	10	25	30	40	100
Cl type additive (Cl-2), wt%	0	-	-	-	-	-	5.2 (○)
	10	-	-	-	-	13.8 (○)	-
	45	-	-	3.5 (○)	3.9 (○)	-	-
	50	-	-	3.4 (○)	-	-	-
	55	-	2.1 (○)	-	-	5.5 (○)	-
	100	0.2 (×)	-	-	-	-	-
Commercial Cl type oil		0.5 (×)					
Commercial P type oil		1.5 (○)					

■ : maxR9% (tapered plug penetration test)

Value : corroded depth (μm)

○ : without rust, × : with rust

Table 4 Gallings prevention property and corrosiveness.

		P-Zn type oil (P-6 with zinc phosphate), wt%					
		0	10	25	30	40	100
Cl type additive (Cl-2), wt%	0	-	-	-	-	-	1.0 (○)
	10	-	-	-	-	-	-
	45	-	-	1.5 (○)	1.6 (○)	-	-
	50	-	-	1.0 (○)	-	-	-
	55	-	-	-	-	1.7 (○)	-
	100	0.2 (×)	-	-	-	-	-
Commercial Cl type oil		0.5 (×)					
Commercial P type oil		1.5 (○)					

■ : maxR9% (tapered plug penetration test)

Value : corroded depth (μm)

○ : without rust, × : with rust

腐食試験において、この複合系でも、Cl系添加剤を含んでいるにもかかわらず、赤錆が防止されている。腐食深さについては、相対的に、Cl系添加剤が多くなるほど、P-Zn系油が少なくなるほど小さくなっているのみならず、その絶対値はP系油を用いた場合よりも小さくなっている。これは、腐食性の低減に対して、P系油へのリン酸亜鉛の配合が有効に作用していることを示すものである。そして、その腐食深さは市販油のレベル以下におさまっている。

上記の結果から、Cl系添加剤とP-Zn系油との複合系において、従来の市販油をしのぐ優れた焼付き防止性能と赤錆を生じさせない低腐食性との両立が可能になったといえる。

4.2 腐食抑制機構

腐食試験直後の鉄試片表面のEPMAによる分析結果をFig. 11に示す。

Cl系添加剤 (Cl-2) 単独の場合には、塩化鉄に起因するClが相当量検出されている。それに対して、Cl系添加剤とP系油 (P-6) ないしP-Zn系油 (P-6 with zinc phosphate) との複合系の場合には、リン酸化合物に起因するPが多量に検出されるのみで、塩化鉄の生成は認められない。これは、テーパプラグ通し試験後の試片表面の分析結果 (Fig. 6およびFig. 7) と同様のものである。

赤錆は塩化鉄の加水分解によって生ずるとされ

ている。したがって、複合系において赤錆を生じないのは、鉄試片表面に塩化鉄を含まないリン酸化合物を主とする反応被膜を生成するためと考えられる。ここで、複合系において試片表面に塩化鉄を生じないのは、3.3節で述べたように、P系油およびP-Zn系油が塩化鉄の溶解能を有しており、塩化鉄被膜が一旦生成しても油中に溶け出してしまいうためと考えられる。

試料油へのリン酸鉄の溶解度を評価した結果をFig. 12に示す。

Cl系添加剤は、P系油およびP-Zn系油と異なり、リン酸鉄の溶解度をほとんど有していない。したがって、複合系の腐食試験において、相対的にCl系添加剤の割合が大きくなるほど腐食深さが小さくなったのは、Cl系添加剤によるリン酸化合物被膜の溶け出しを防止することに起因するものと推察される。

また、P系油とP-Zn系油との比較から、試料油へのリン酸亜鉛の共存によってリン酸鉄の溶解が阻害されていることが分かる。したがって、P-Zn系油を用いた場合にP系油を用いた場合よりも腐食深さが小さくなったのは、P系油へのリン酸亜鉛の共存によって、リン酸化合物被膜の溶け出しが防止されるためと推察される。

以上のCl系添加剤とP-Zn系油との複合系における腐食抑制機構に関する推測をFig. 13に模式的に

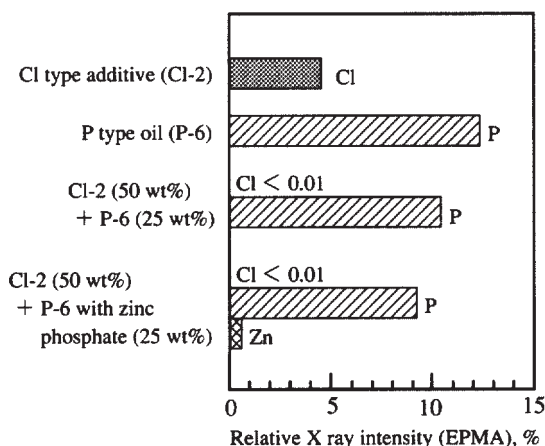


Fig. 11 Amounts of reaction products on surface after corrosion test.

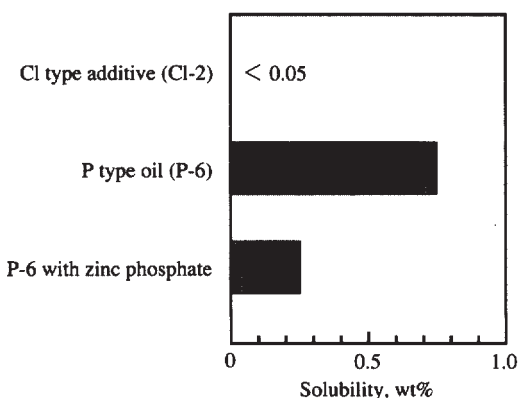


Fig. 12 Solubility of iron phosphate to sample oil. ($\text{FePO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 100°C)

示し、以下に要約する。

Cl系添加剤の作用によって、一旦塩化鉄被膜が生成しても、P-Zn系油を含む試料油中に溶解し、リン酸化合物を主体とする反応被膜が表面に形成される。赤錆の原因となる塩化鉄が表面に残存しないことによって、赤錆が防止される。また、生成したリン酸化合物からなる被膜は、Cl系添加剤およびリン酸亜鉛を含む試料油に対して溶解度が低く、油中へ溶け出しにくい。生成したリン酸化合物被膜が安定化されることによって下地鉄の腐食が抑制される。

5. 実用性評価

実験室的な評価において、Cl系添加剤とP-Zn系油とを配合した試料油は、従来の市販油をしのぐ優れた焼付き防止性能と鉄系材料に対して赤錆を生じさせない低腐食性を示し、当初の目標を満した。そこで、試作油を実部品の冷間加工に供することによって、実用性能について検討した。

実施した実機試験の一例として、SUS304棒材の引抜き加工の概要をFig. 14に示す。この加工には、従来Cl系の添加剤を含む潤滑油が用いられていたが、焼付き防止性能が低いため引抜き速度を20m/minまでしか上げられないこと、加工機の周辺に赤錆を生じさせることが問題となっていた。それに対して、試作油を用いた場合には、引抜き速度を加工機の限界の30m/minまで上げて焼付きを生じることはなく、加工機周辺に赤錆を生じることもなかった。これによって、この試作油が既存

のステンレス鋼用冷間鍛造用潤滑油をしのぐ優れた焼付き防止性能と低腐食性とを兼ね備えていることが、実験室的評価のみならず実機試験においても確認された。

試作油の実機試験は、引抜き加工以外にも実施されており、それらにおいても試作油の優れた焼付き防止性能と低腐食性が確認されている。また、試作油の採用による効果として、コストの低減、生産性の向上、生産環境の改善等が指摘されている。

6. おわりに

既存のステンレス鋼用冷間鍛造油をしのぐ優れた焼付き防止性能と鉄系材料に対して赤錆を生じさせない低腐食性とを兼ね備えた、所期の目標を満足する潤滑油を開発することができた。実用化も徐々に進み、コスト低減、生産性向上、生産環境改善等の様々な効果を生み出しつつある。

塑性加工において、材料が特定された場合の加工特性は、概ね潤滑剤、型形状・工程設計および型材質・表面処理の三つの要素に依存するといえる。ステンレス鋼は、元来、変形抵抗が大きく、また化学的に不活性であり潤滑剤の化学的作用が起りにくいいため、加工が難しい材料である。したがって、潤滑剤だけの高性能化を進めても、加工性の向上には限界があるといわざるを得ない。それゆえ、部品材質のステンレス鋼化推進のためには、潤滑剤のみならず、型形状・工程設計および型材質・表面処理を含めた総合技術としての最適化、高性能化が必要なものと考えられる。

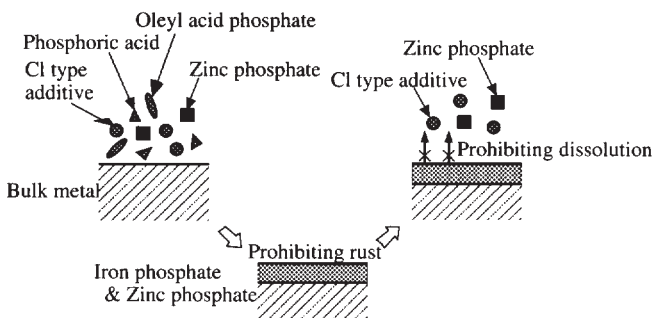


Fig. 13 Corrosion control mechanism on steel surface.

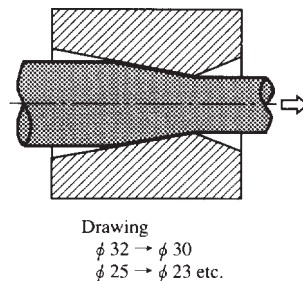


Fig. 14 Example of practical application.

最後に、試料の提供ならびに討議を通して協力頂いた豊田ケミカルエンジニアリング(株)、トヨタ自動車(株)、日本電装(株)および愛知製鋼(株)の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 小山隆, 澤崎嘉彦: 塑性加工シンポジウム, 145(1992), 77
- 2) Kaiser, H: Proc. 13th Int. MTDR Conf., (1972), 555
- 3) Komatsuzaki, S., Nakano, F., Uematsu, T. and Nakahara, T.: Lubr. Eng., 41(1985), 98
- 4) Ohmori, T., Kitamura, K., Danno, A. and Kawamura, M.: Wear, 155(1992), 183
- 5) 北村憲彦, 大森俊英, 川村益彦, 団野敦: 塑性と加工, 34-393(1993), 1178
- 6) 北村憲彦, 大森俊英, 団野敦: 日本塑性加工学会春季講演会予稿集, (1994), 809
- 7) 大森俊英, 北村憲彦: 日本トライボロジー学会トライボロジー会議春東京予稿集, (1994), 211
- 8) 大森俊英, 北村憲彦: 日本トライボロジー学会トライボロジー会議秋金沢予稿集, (1994), 473
- 9) 大森俊英, 北村憲彦: 日本トライボロジー学会トライボロジー会議春東京予稿集, (1995), 23
- 10) Ohmori, T., Kitamura, K., Danno, A. and Kawamura, M.: Tribol Trans., 34-3(1991), 458
- 11) 大森俊英, 北村憲彦, 団野敦, 川村益彦: トライボロジスト, 36-10(1991), 792
- 12) Davey, W.: J. Inst. Petroleum, 31(1945), 154

- 13) Gauthier, A., Montes, J. and Georges, J. M.: ASLE Trans., 25(1982), 445
- 14) 大森俊英, 北村憲彦: 日本トライボロジー学会トライボロジー会議春東京予稿集, (1996), 429
- 15) 大森俊英, 北村憲彦, 団野敦, 川村益彦: トライボロジスト, 37-3(1992), 237

著者紹介



大森俊英 Toshihide Ohmori

生年: 1959年。

所属: 機械要素・トライボ研究室。

分野: 潤滑油に関する研究・開発。

学会等: 日本トライボロジー学会, 日本塑性加工学会会員。

1991年日本潤滑学会(現日本トライボロジー学会)論文賞受賞。

1991年R&D100受賞。

1996年東海化学工業会賞受賞。

工学博士。



北村憲彦 Kazuhiko Kitamura

生年: 1958年。

所属: 材料加工研究室。

分野: 塑性加工の潤滑に関する研究・開発。

学会等: 日本機械学会, 日本塑性加工学会, 日本トライボロジー学会会員。

1991年R&D100受賞。

1996年東海化学工業会賞受賞。