

論説



Paper

臭気対策を施した高性能温間鍛造油の開発

深谷輝雄*¹, 伊藤樹一*², 吉田広明*³

Development of Low Smell and High Performance Warm Forging Lubricants

Teruo Fukaya, Shigekazu Ito, and Hiroaki Yoshida

Synopsis

Recently the demands of a performance and environmental treatment for forging lubricant oil have been getting stronger. Especially, in the warm forging which is spread gradually for the purpose of near net shaping or complex shaping, the environmental problem is considerable. Concerning to the lubricant performances of the oil, both of the high lubrication and cooling abilities are required in warm forging. As for the environmental treatment, the harmful gas and sharp smell must be reduced as much as possible. We have developed the new oil contained overbased calcium sulfonate for warm forging to be satisfied with the needs.

The results are follows.

1. The smell was much reduced even at 800 °C comparison to conventional high performance forging oil which contains Zn-DTP.
2. The forging load decreased about 35 % at 800 °C in backward extrusion.
3. The depth of punch wear was reduced about 14 % after 5000 shots.

1. 緒 言

近年、自動車の高性能化・軽量化ニーズによって、製造方法についても、熱間鍛造よりニアネットシェイプが可能な、温間鍛造が注目されている¹⁾。温間鍛造は加工物の温度を 900 °C 以下に高周波加熱装置などによって加熱し、プレス機、フォーマー、ヘッダーなどの塑性加工用生産機械によって行われている。通常、被加工材料と金型との焼付き防止、金型冷却、および金型寿命延命などの目的から、鍛造中に金型へ潤滑剤を噴霧する。この温間鍛造用潤滑剤に対しても、いろいろな要望が増えている。現在でも、温間鍛造用潤滑剤は、比較的安価な固体潤滑剤を油や水に分散したタイプが主流である。黒色系固体潤滑剤成分としては、黒鉛、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、酸化鉄などがある。白色系固体潤滑剤成分としては、窒化ホウ素、雲母、炭酸カルシウム、金属石鹸、有機物粉末、およ

び、植物系粉末、テフロンなどの樹脂粉末などがある。黒色系固体潤滑剤を配合した温間鍛造油は、作業環境（作業、機械設備など）の汚れ、廃液処理などの問題点があり、白色系固体潤滑剤を使用した白色系鍛造油が種々提案され、使用されている^{2), 3)}。しかし、白色系鍛造油を使用した場合は、上記作業環境汚染の問題はある程度解決できるが、黒色系固体潤滑剤成分を使用した場合と比較して、潤滑性、離型性やコスト面において劣る場合が多い。近年、さらに作業環境の汚れを改善すべく、無機物、あるいは有機物の金属塩などを水に溶解した、より無色に近い水系透明タイプの潤滑剤が多く提案されている^{4), 5)}。水系透明タイプの潤滑剤は、蒸発した後の残渣が白色のため、黒色系固体潤滑剤を使用した場合と比較して作業環境汚染の問題は解決できる。しかし固体潤滑剤成分を使用した鍛造油と比較して、潤滑性、離型性などの性能がさらに劣るため金型寿命が低下する場合が多い。また、水分蒸発によ

2007 年 6 月 4 日受付

* 1 中京化成工業(株)技術研究所 (Research & Development Laboratory, Chukyo Kasei Kogyo Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 3 大同特殊鋼(株)研究開発本部, 工博 (Dr., Eng., Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

る潤滑成分の凝集が発生し、噴射配管のつまり、噴霧ノズルの目づまり、および、金型への堆積などの問題点が発生する。また、黒鉛、二硫化モリブデンなどの固体潤滑成分は、温・熱間鍛造時の熱によって分解しにくいいため、異臭は発生しにくい、これらを基油、および水に分散させるために添加する分散剤成分などは熱によって分解しやすいため、異臭の原因となる。臭気問題を解決するため、高塩基性金属塩（特にカルシウム塩）を主成分に使用した油性温間鍛造油⁶⁾も開発されているが、潤滑性が劣るだけでなく、潤滑成分が高粘度である。高粘度な潤滑剤をフォーマーへ使用した場合、装置本体の動作部を潤滑する作動油と潤滑剤とが混ざるため、作動油の供給に悪影響を与える。上述の潤滑剤の現状を Table 1 にまとめる。また、温間鍛造潤滑剤への要求項目を Table 2 に示す。非個体潤滑剤、潤滑剤の色、再利用性、および低粘度な潤滑剤とすることは油性液体成分を使用することによって解決可能である。

そこで、本研究では、温間鍛造用フォーマーにおいて使用可能な高性能潤滑剤を開発するため、油性液体成分に着目した。さらに、臭気対策を施すため添加剤成分の検討と、工具寿命への影響を調査するため、金型冷却能、および、潤滑性の評価を実施したので報告する。

Table 2. Demands to warm forging lubricants.

No.	Demand items
1	Non-solid type lubricants
2	Light color, Clear liquid
3	Reuse, Recycle-use type
4	Low smell, Low mist
5	Long tool life
6	Low forging load
7	Low viscosity

Table 1. Comparison of warm forging lubricants.

	Black-color solid lubricants	White-color solid lubricants	Oily lubricants
Forging load (lubricity)	○	○～△	△～×
Cooling capability (tool life)	○	○～△	△
Mist and oily smoke	○～×	○～×	△～×
Smell	○～×	○～×	△～×
Mechanical trouble	×	×	○
Stain around machine	×	△～×	○
Choke of pipe, Deposition	×	×	○
Reuse, Recycle use	△～×	△～×	○
Waste fluid, sludge	×	×	○～△

○ : Good △ : Average × : Bad

2. 油性潤滑成分の検討

2. 1 基油（ベースオイル）

通常使用する基油は鉱物油を使用する。鉱物油としては、パラフィン系、ナフテン系などがあり、パラフィン系が主流をしめている。ナフテン系は各種潤滑添加剤の溶解性は高いが、ゴム膨潤、油焼け、皮膚刺激性などの短所がある。合成油としては、ポリ α -オレフィン、 α -オレフィンコポリマー、ポリブテンなどの合成炭化水素油などを挙げるができる。これらは低毒性、低臭気、低温流動性など優れた性能を示すが、鉱物油に比べて価格が高いなどの短所がある。

2. 2 油性剤

油性剤は、油性向上剤とも呼ばれ、菜種油、大豆油などの植物系油脂、ラード、牛脂など動物系油脂、ステアリン酸、オレイン酸などの高級脂肪酸、オレイルアルコール、ラウリルアルコールなどの高級アルコール、ヒンダードエステル、ペンタエリスリトール、トリメチロールプロパン、ジエステルなどの合成エステル類がある。

2. 3 極圧添加剤

極圧添加剤は、金属表面に反応膜を形成し焼付きを防止する機能を有する。塩素系、硫黄系、有機金属系（鉛石鹸、ジアルキルジチオリン酸亜鉛など）、りん系などがある。

塩素系や鉛系添加剤は、低価格で優れた極圧性能があり、ステンレス鋼や高炭素鋼の加工では多く使用されてきた。しかしながら、塩素系の場合には焼却処分する時にダイオキシンが発生し^{7),8)}、また、鉛系は人体への毒性などの環境問題となっている。そのため、非塩素系、非鉛系鍛

造油に切替えが進んできている。非塩素系、非鉛系鍛造油の主要添加剤は、硫化油脂、合成硫黄、ジアルキルジチオリン酸亜鉛、高塩基性カルシウム塩などを配合した油剤であり、今回の開発では、前述の理由より塩素系や鉛系添加剤を配合した油剤は対象外とした。

2. 4 その他添加剤

上記添加剤以外としては、防錆剤、酸化防止剤、防食剤、着色剤、消泡剤、香料などがあり、防錆剤としては、カルシウム系防錆剤やワックス系防錆剤など、酸化防止剤としては、アミン系化合物やフェノール系化合物など、防食剤としては、ベンゾトリアゾール、トリルトリアゾール、メルカプトベンゾチアゾールなど、着色剤としては、染料や顔料を使用する。

3. 試験方法

3. 1 臭気確認試験

臭気試験方法は 400℃ に加熱した鉄製カップ状容器に、

評価する成分を滴下し、発生した臭気を 5 名以上に嗅ぎ、評価判断を行った。臭気評価基準は、臭気無しから問題無いレベルには「○」を、不快臭ではないが、臭いが強い場合には「△」を、不快臭が強い場合には「×」を記載した。

3. 2 冷却能試験

温間鍛造時、金型寿命に影響を与える冷却能は Fig.1 に示す方法で測定した。潤滑油はストレートノズルにより毎分 1.2 リットル噴射した。潤滑油噴射ノズルから温度測定試験片までの距離は 50 mm とした。試験手順は、温度測定試験片を電気炉により 480℃ に加熱した後に取り出して試験機に設置し、熱電対の温度が 450℃ から潤滑油噴射を開始して、温度を記録した。その後、450℃ から 350℃ になるまでの時間を読み取り、冷却速度を算出した。

3. 3 フランジヘッダー試験

潤滑性はフランジヘッダー試験⁹⁾によって評価した。被加工材は Table 3 に示す S48BC の球状化焼鈍材 (HRB70

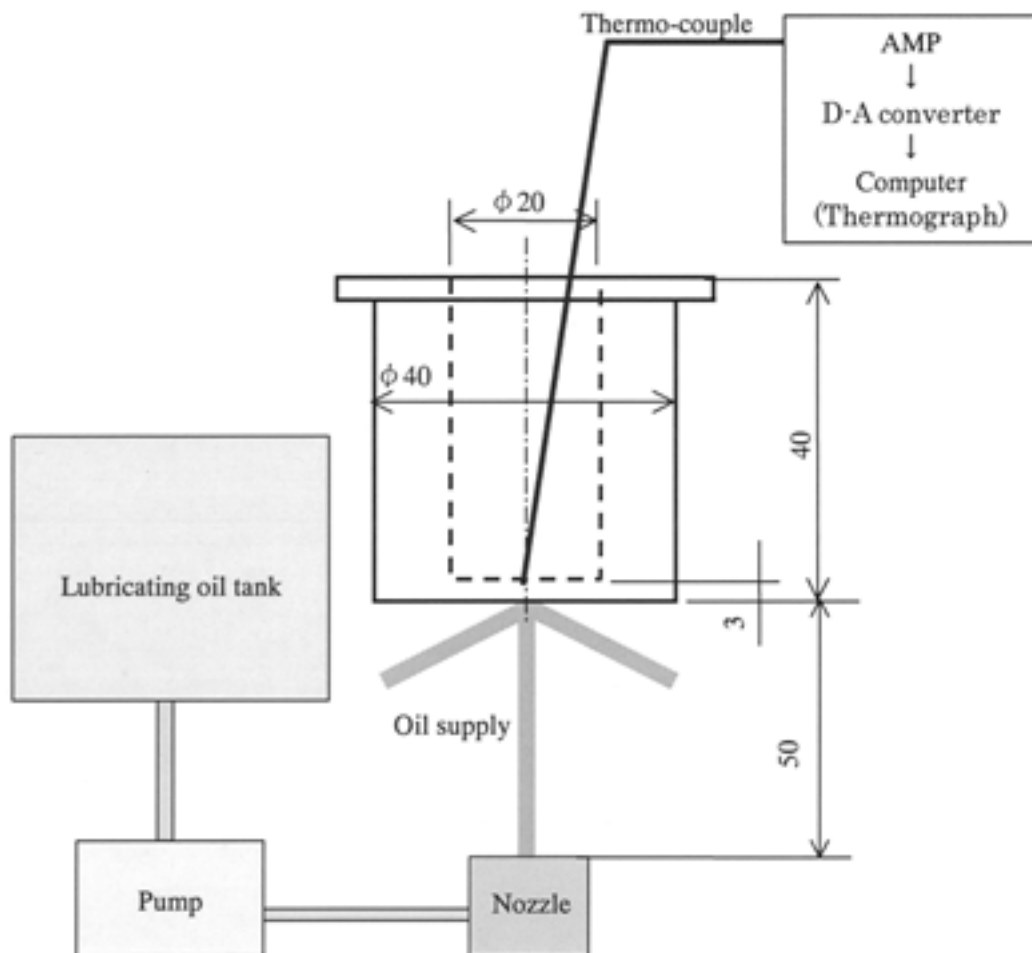


Fig.1. Schematic illustration of cooling test of lubricants.

Table 3. Chemical composition of work piece (mass %).

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	B
S48BC	0.48	0.05	0.27	0.11	-	-	add.
S53C	0.53	0.25	0.7	0.15	-	-	-
MH85	0.55	0.2	0.5	4.5	3.6	1.0	-

程度)を、 $\phi 11.83 \times 24$ hの円柱状に機械加工したものを使用した。評価には最大荷重 600 ton のクランクプレスを使用した。フランジヘッダー試験の金型組図を Fig.2 に示す。試験時の成形荷重は 200 ton ロードセルによって測定した。また、金型の詳細寸法を Fig.3 に示す。フランジ

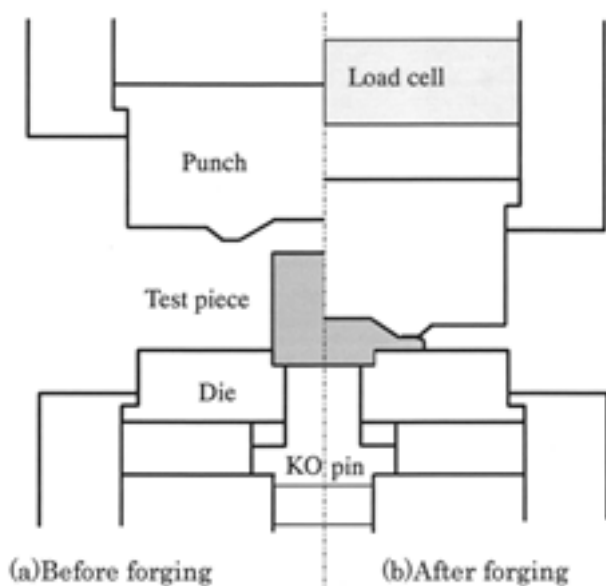


Fig.2. Schematic illustration of Flange Header Test.

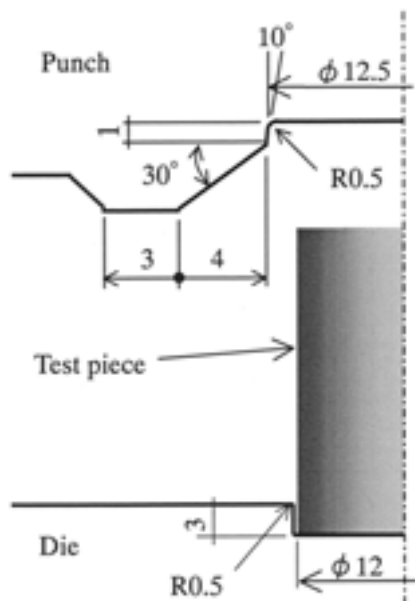


Fig.3. Dimension of punch and die of Flange Header Test.

ヘッダー試験は線材の潤滑皮膜を評価するために開発した評価方法であるため、評価面は試験片側面である。評価時の表面積拡大比は 15 程度である。また、ダイスは実機による金型温度上昇を模擬するため、カートリッジヒーターによって 150 °C に加熱した。なお、パンチは室温で評価した。試験片温度は室温、400 °C、600 °C と 800 °C で評価した。また、実機を模擬して 10 個連続鍛造した場合の成形荷重変化についても評価した。潤滑油はダイス上面へ刷毛塗りをした。

3. 4 パンチ摩耗試験

工具寿命への影響を調査するため、Fig.4 に示す高速鍛造が可能なパーツフォーマーによるパンチ摩耗試験^{10)~12)}を実施した。被加工材に S53C を、パンチにはマトリックスハイスの MH85 を硬さ HRC 59 に調質して使用した。それぞれの化学成分を Table 3 に示す。パンチの形状は Fig.5



Fig.4. Outlook of parts former used for Punch Damage Test.

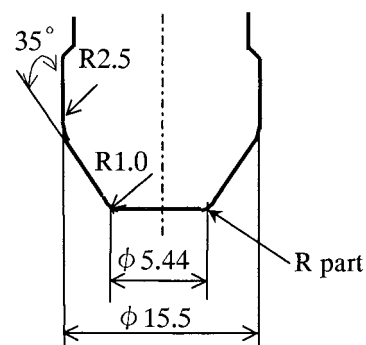


Fig.5. Schematic illustration of test punch in Punch Damage Test.

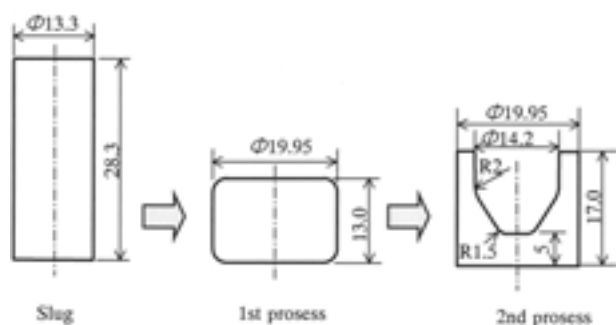


Fig.6. Forging process of Punch Damage Test.

に示す。評価は最大荷重 140 ton の 5 工程パーツフォーマーを使用し、Fig.6 に示す 2 工程で鍛造を行った。また、被加工材はスラグ供給とし、高周波加熱装置で加熱して 820 °C で鍛造した。鍛造速度は 85 spm で行い、5000 ショット後に第 2 工程のパンチ先端 R 部の摩耗量を測定した。なお今回の実験では、冷却を兼ねて潤滑油を 3.0 L/min の流量で Fig.7 に示すようにジャケット型冷却装置を用いてパンチに 4 方向から垂直に噴射した。また、パーツフォーマーの潤滑油タンクは 400 リットルであり、潤滑油切り替え時は全量を入れ替えた。

4. 試験結果

4. 1 臭気試験結果

主な油性原料を選定し臭気試験を実施した。基油は 40 °C における動粘度が 100 mm²/s 以上、引火点が 200 °C 以上のものが、熱安定性、臭気、油煙の点から望ましい結果を得た。油性剤は、全体的に引火点が高く臭気や油煙が少ない原料が多く、特に構造的に炭素数 7～22 の構造を有するものがより好ましい結果であった。硫黄系添加剤の硫化油脂、硫化脂肪酸、および、硫化エステルは、油脂分として植物系油脂を使用しているものは、臭気の点で好ましい。合成硫黄の硫化オレフィン、ポリサルファイド類、チオカーバメート類は、臭気の点より炭素数 12 以上のものが好ましい結果であった。ジアルキルジチオリン酸亜鉛は、低温域より分解するため油煙も多く、臭気も好ましくない。高塩基性金属塩（カルシウム塩）は、油煙が比較的多いが、臭気は良好な結果となった。

油溶性のりん系添加剤は、りん酸の酸価を中和した物と未中和の物で大きな差を生じる。中和物は、アミンにて中和した原料が多く、加工熱により急激にアミンが分解、放出されるため油煙量も多く、臭気も好ましくない。未中和物はこのアミンを含有していないため油煙、および臭気の点でより良好である。ただし酸価を有しているため、高塩基性カルシウム塩などの塩基性塩と混合すると反応し、増

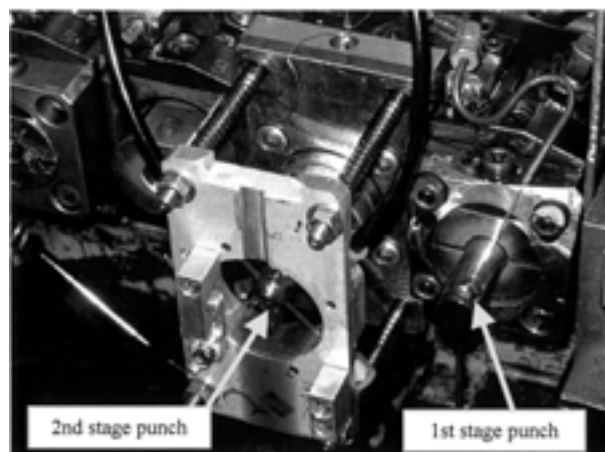


Fig.7. Cooling system used in Punch Damage Test.

粘、沈殿、発泡などの現象を引き起こすので、注意が必要である。

その他添加剤として、アミン系構造を有している原料は前述要因より注意が必要である。香料は一般的に臭気対策のため使用されることが多い。しかし、被加工物の温度が 400 °C 以上になる場合、香料は低分子構造のため、急激に分解して高濃度の臭気が充満する。そのため、逆に不快臭になることが多い。また、循環使用する鍛造油では、香料有効成分の蒸発が激しく、循環する回数が多くなれば、効果も激減する。一般的に、低粘度原料は低分子のため熱分解温度が低く、油煙も多く、臭気もきついものが多かった。また、動物系より植物系成分のものが臭気が良好であった。

上記をまとめた結果を Table 4 に示す。この中で○と△の原料を調査選定し成分調整を繰り返して、Table 5 に示す潤滑油組成物の開発品 A を得た。従来品 1～3 は、現在市販している代表的なものを選定した。臭気は開発品 A と従来品 3 が良好である。なお、以下、冷却能試験やフランジヘッダー試験をする際に、粘度の影響を除外するため、すべての潤滑油粘度を 100(mm²/s, 40 °C) に調整した。

4. 2 冷却能試験結果

温間鍛造における金型寿命の改善は強く求められている。近年、生産性向上のため鍛造速度を上げる傾向にあるが、鍛造速度が上がると金型への負担は高まり、金型寿命は悪化する。その解決方法として、潤滑剤には、金型温度を下げる、つまり、高い冷却能が求められている。それぞれの潤滑油の 450 °C から 350 °C までの冷却速度を Fig.8 に示す。冷却速度が高いほど、金型を冷やすことが可能なので、良好な潤滑剤であるといえる。従来品 3 は、高塩基性カルシウムを高い比率にて配合しており、この添加剤中に

含まれている水酸化カルシウムの水酸基蒸発による冷却効果により、冷却性能が良好になったと推測される。また、開発品 A は、従来品 3 より冷却能は劣るが、従来品 1 および従来品 2 より良好な結果であった。

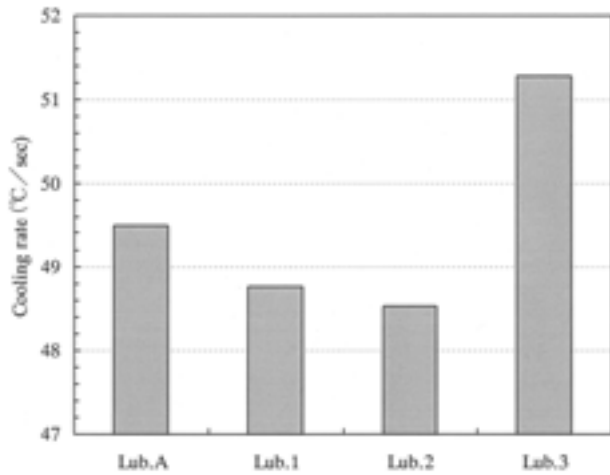


Fig.8. Cooling rate of lubricant from 450 °C to 350 °C .

4. 3 フランジヘッダー試験による潤滑性評価結果

潤滑油の潤滑性をフランジヘッダー試験によって評価した結果を Fig.9 に示す。成形荷重が低いほど摩擦係数が低く良好な潤滑油である。試験片温度を 400 °C, 600 °C,

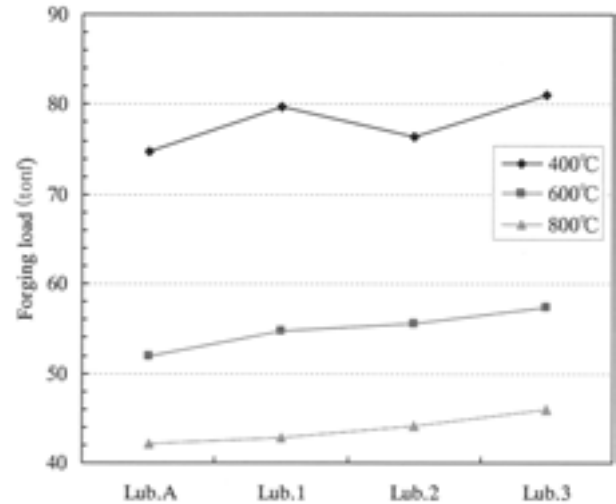


Fig.9. Lubricity of lubricants in Flange Header Test.

Table 4. Smell test of lubricating additives.

	Chemical description	Smell *
Base oil	Mineral oil	○～△
Oiliness agents	Fatty oil (animal type)	△～×
	Fatty oil (vegetable type)	○～△
	Synthetic ester	○～△
Sulfur agents	Sulfurized lard	×
	Sulfurized vegetable fatty acid	△～×
	Sulfurized olefin	△～×
	Sulfurized ester	△～×
Zinc agents	Zinc dialkyl dithiophosphate	×
Phosphorus agents	Phosphorus additives	△～×
Anti-rust agents	Rust and inhibitors	○～△
	Overbased calcium sulfonate	○～△

* ○ : Good △ : Average × : Bad

Table 5. Provided lubricants.

	Develop lubricant A	Conventional lubricant 1	Conventional lubricant 2	Conventional lubricant 3
Chemical description	Oiliness agents + sulfur additives + anti-rust additives	Oiliness agents + sulfur additives	Sulfur additives + Zn-DTP	Overbased calcium sulfonate
Smell *	○	△	×	○
Appearance color	Brown	Brown	Brown	Brown
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	95	95	100	100
Flash point (C.O.C °C)	224	238	226	238
Copper corrosion (100 °C × 1 h)	4	4	1	1

* ○ : Good △ : Average × : Bad

および 800℃にて評価した結果、開発品 A は、従来品と比べて良好な結果であった。従来品 1 よりも開発品 A の方が良好なため、防錆剤によって、潤滑性が向上したと考えられる。また、臭気および冷却能が良好であった従来品 3 は、開発品 A よりも単発で評価した場合は悪い結果である。しかし、連続鍛造中に潤滑性が変化する可能性がある。そこで、開発品 A と従来品 3 については、実際の部品製造を模擬するために、ダイス研磨を試験前のみに実施して、油塗布のみ毎回実施して 10 回連続鍛造をした。試験片温度 800℃において実施した結果を Fig.10 に示す。従来品 3 は鍛造数が増加するに従い、成形荷重が増加する傾向が見られる。それに対して、開発品 A は鍛造数の増加に従い、成形荷重が低下する傾向となっており、10 ショット後には、7 tonf と大きな成形荷重差であることがわかった。材料温度 400℃において実施した結果を Fig.11 に示

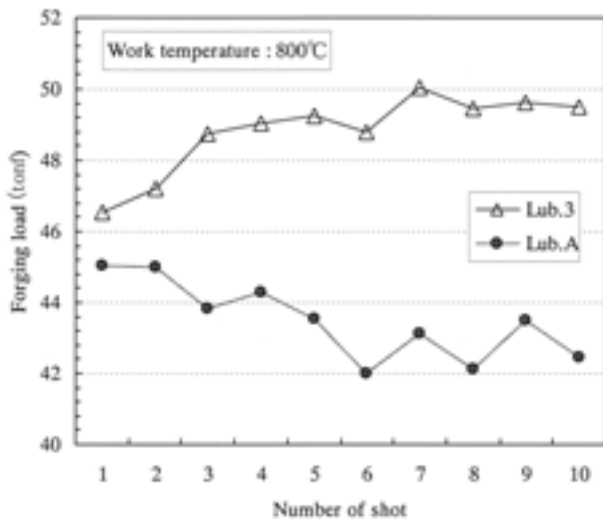


Fig.10. Behavior of forging load in Flange Header Test at 800℃ .

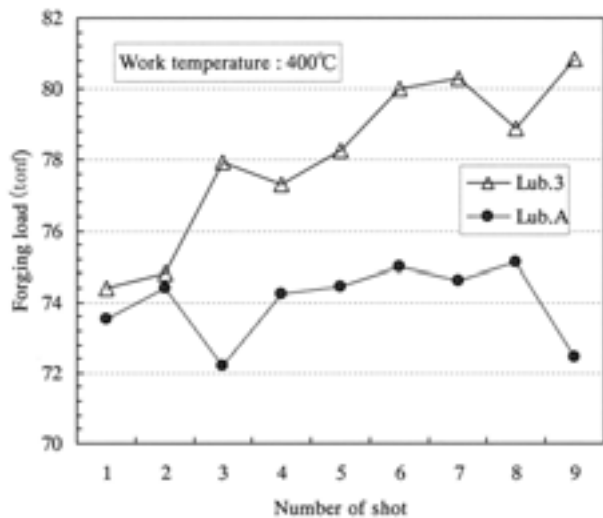


Fig.11. Behavior of forging load in Flange Header Test at 400℃ .

す。開発品 A はほぼ一定の荷重であるが、従来品 3 は鍛造数が増加するに従い、成形荷重が増加する傾向が認められる。室温において連続鍛造を実施した結果を Fig.12 に示す。開発品 A の成型荷重は若干低下する傾向であるが、従来品 3 の成型荷重はほぼ一定である。以上の結果より、臭気が良好な潤滑油である開発品 A と従来品 3 と比較すると、連続鍛造によって比較した結果、本開発品 A の潤滑性がどの温度においても良好であることが確認できた。

4. 4 金型寿命評価試験

実機鍛造における金型寿命を評価するため、潤滑性が良好であった開発品 A と従来品 1 について、パンチ摩耗試験を実施した。評価を実施する 2 工程目の成形荷重を Fig.13 に示す。成形荷重は、従来品 1 が約 19 tonf であったが、開発品 A は 16 tonf へ低下し、35% 低減した。この

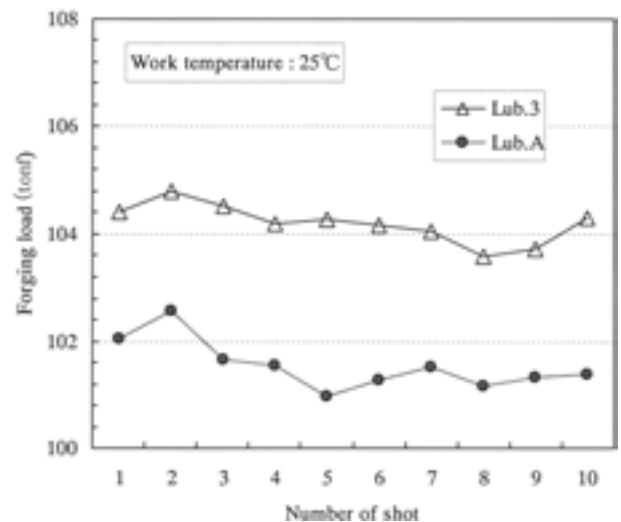


Fig.12. Behavior of forging load in Flange Header Test at 25℃ .

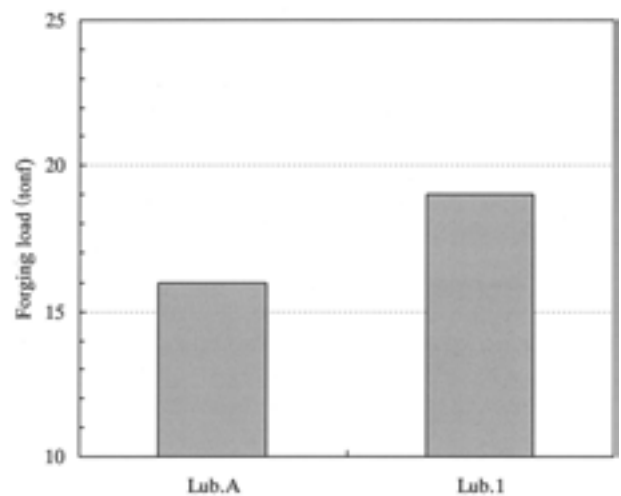


Fig.13. Comparison of forging load in Punch Damage Test.

ように、実機においても、開発品 A の潤滑性の高さが確認できた。また、5000 ショット後のパンチ先端部の外観を Fig.14 に示す。どちらのパンチにもヒートクラックが発生しており、一見しただけでは、どちらのパンチが良好かはわからなかった。そこで、パンチ先端 R 部の摩耗量を測定した結果を Fig.15 に示す。開発品 A の摩耗量が 0.414 mm に対して、従来品 1 の摩耗量が 0.471 mm であった。開発品 A は、従来品 1 と比較して摩耗量が 14 % 低減しており、本開発品 A の金型寿命向上効果を確認することができた。

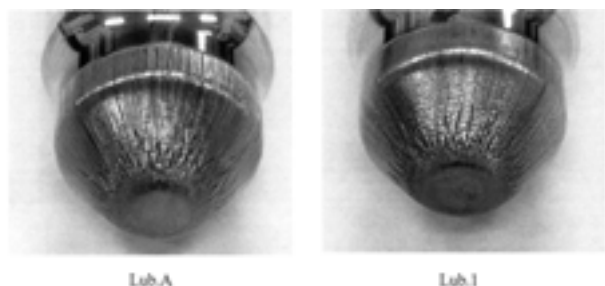


Fig.14. Outlook of punch after 5000 shots in Punch Damage Test.

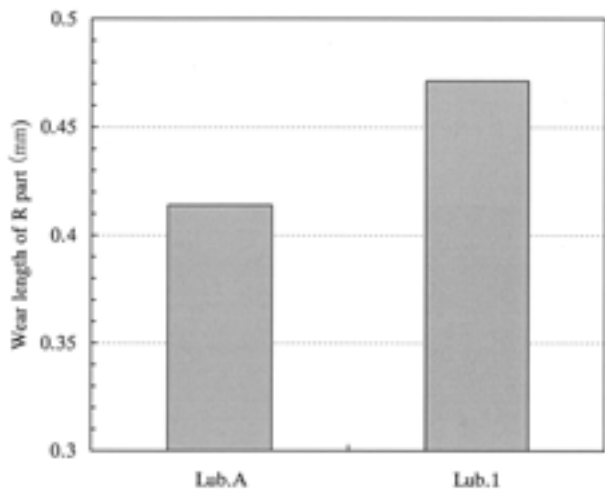


Fig.15. Depth of punch at corner R part after 5000 shots in Punch Damage Test.

5. 結 論

臭気対策を施した温間鍛造油を開発し、以下の結論を得た。

- 1) 添加剤成分から検討することによって、フォーマーにおいても使用可能な低粘度、低臭気な潤滑油を開発することができた。
- 2) 冷却能試験、およびフランジヘッダー試験による評価の結果、従来品に比べて開発品の性能が良好であることがわかった。
- 3) パーツフォーマーによる実機評価の結果、従来品と比較して、成形荷重を 35 % 低減し、5000 ショット後の摩耗量を 14 % 低減できる優れた温間鍛造用潤滑油を開発することができた。

(文 献)

- 1) 済木弘行：塑性と加工，**39**(1998)，807.
- 2) 平井清訓：プレス成形加工，**2**(2005)，9，12.
- 3) 田村清：トライボロジスト，**37**(1992)，5,596.
- 4) 日比徹，横山東司：塑性と加工，**38**(1997)，807.
- 5) 五十川幸宏，迫田克義，森幹：塑性加工連合講演会論文集，**44**(1993)，709.
- 6) 酒井健次：プロセストライボロジー分科会年間報告書，(1999)，183.
- 7) 全国工作油剤工業組合技術部会：プレス成形加工：2 (2005)，9，1.
- 8) 荻原詔喜：プロセストライボロジー分科会年間報告書，(2003)，94.
- 9) 伊藤樹一，吉田広明，五十川幸宏，堂田邦明：塑性加工連合講演会論文集，**56**(2005)，613.
- 10) 吉田広明，酒井貴文，伊藤樹一，五十川幸宏：平成16年塑性加工春期講演会，(2004)，359.
- 11) 酒井貴文，伊藤樹一，吉田広明，五十川幸宏：平成16年塑性加工春期講演会，(2004)，361.
- 12) 岡島琢磨，吉田広明，五十川幸宏：電気製鋼，**76**(2005)，95.