

アルミ冷間鍛造における環境対応型潤滑剤の性能評価（第2報）

機械科 鷺坂芳弘*
住鋁潤滑剤株式会社 石橋 格 中倉敏成
静岡大学 中村 保 早川邦夫 笹岡英嗣

Evaluation of Environmentally Friendly Lubricant for Aluminum Cold Forging (2nd report)

Yoshihiro Sagisaka, Itaru Ishibashi, Toshinari Nakakura,
Tamotsu Nakamura, Kunio Hayakawa and Eiji Sasaoka

The applications of cold forged aluminum parts have been increasing because of the needs for weight reduction. Although the aluminum fluoride coating is a popular lubricant for aluminum cold forging, it has high environmental risks and needs much expense. It is required to replace the aluminum fluoride coating with environmentally friendly lubricants. The authors evaluated the lubrication performance of a double-layer-type environmentally friendly lubricant for aluminum alloy. The lubrication properties were varied by the materials coated by the lubricant films. Although the performance of double-layer-type lubricant was insufficient for forgings accompanied by excessive surface expansion, it was enough for usual forgings.

1. はじめに

自動車の軽量化要求に伴い、アルミ合金の冷間鍛造品の需要が増えている。アルミ合金は延性に優れるため、素材表面が極端に引延ばされるような鍛造に供されることが多い。鍛造用の潤滑剤にはそのような表面の延びに追随して金型との焼付を防止することが要求される。従来はフッ化アルミ皮膜という化成皮膜がその役割を果たしてきた。しかし、フッ化アルミ皮膜ではその皮膜処理の際にフッ素を含んだ廃棄物が排出される。この廃棄物は安全に廃棄するための処理費用が高く、最終的には埋立て処分するしかないため、コストと環境の両面で問題があった。この問題を解決するため低コストで廃棄物の少ない環境対応型潤滑剤が開発されたが、これまでアルミ鍛造に適した潤滑性能の評価方法がなかったため、性能保障が不十分で代替が進んでいなかった。

著者らは潤滑剤代替によるアルミ冷間鍛造のコストと環境負荷の低減を目的として、環境対応型潤滑剤の性能評価を試みてきた。前報¹⁾ではアルミ鍛造に適した摩擦試験法を開発し、アルミ合金の焼入材について潤滑性能を評価した。しかし、冷間鍛造で

はより成形荷重の低い焼鈍材が多用される。そこで本報ではアルミ合金の焼鈍材について環境対応型潤滑剤の性能評価を行い、鍛造材料による潤滑特性の変化、および焼鈍材における環境対応型潤滑剤の性能向上方法について検討した。

2. 2液2層型乾燥皮膜潤滑剤

環境対応型潤滑剤としては既に1液型の乾燥皮膜潤滑剤²⁾が実用化されている。これは薬剤への浸漬と乾燥によって素材表面に1層の固体潤滑膜を形成するもので、コスト面では優れているが性能が不十分とされてきた。潤滑膜には潤滑性と耐焼付性が要求されるが、潤滑性にはせん断抵抗の低い膜が有利で、耐焼付性には硬くて膜切れしにくい膜が有利である。1液型の性能の限界は、このように相反する特性を1層の膜で実現するのが困難なことによる。

そこで、本報では住鋁潤滑剤(株)製の2液2層型乾燥皮膜潤滑剤³⁾を評価した。本潤滑剤は薬剤への浸漬と乾燥を2回繰返して、図1に示す下地膜と上塗膜からなる2層の潤滑皮膜を形成するものである。下地膜は、素材に強固に吸着しつつ素材表面の延び

*) 現 浜松工業技術支援センター



図1 2液2層型潤滑皮膜の構造概念図

に追従して、常に素材—金型間に介在することで耐焼付性を発揮する。せん断抵抗が小さい上塗膜は潤滑性を担当するとともに、工具—素材間のせん断変形を引き受けて下地膜への負荷を軽減し、膜切れの抑制にも貢献する。この膜構造は化成皮膜のそれと類似であり、潤滑膜に対する相反する要求を実現できる。既に鋼材用では実用化され、コスト削減に貢献していた³⁾が、アルミ合金では有効な性能評価方法がなく、適用が遅れていた。

3. 摩擦試験法と焼入材での評価結果

著者らはアルミ鍛造の大きな表面積拡大を再現できる評価法として図2に示す摩擦試験法を考案した。本法はダイス内に挿入した $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ の円柱状試験片を断面減少率 $Re_U=50\%$ のパンチで加圧して、スプライン状の断面を持つテーパ軸とカップを同時に押出すものである。ダイスの摩擦が大きくなると図3のように軸の押出しが抑制されて軸が短くなる。予めFEM解析を用いて特定のダイス摩擦せん断係数 m_D に対するパンチストローク S_P と軸押出し量 S_f の関係を求めて、図4のような校正線図を作成しておく。その上に実測値をプロットして内挿することで m_D が特定でき、定量的に摩擦を評価することができる。潤滑剤の性能が良好であれば実測値は校正線に沿ってプロットされ m_D は一定と評価される。性能が劣れば S_P の増加によって実測値は高い m_D の校正線上に遷移し、摩擦が上昇したと判定される。

素材表面が延ばされると潤滑膜はその分薄くなり、膜切れによる焼付を生じやすくなる。本法ではダイステーパ面上に設けた突起が溝を成形することで試験片表面に局所的に大きな延びを与えている。表面積の拡大比 X は突起の高さと導入部の形状で変化する。表1に使用した3種類の突起導入部形状とF

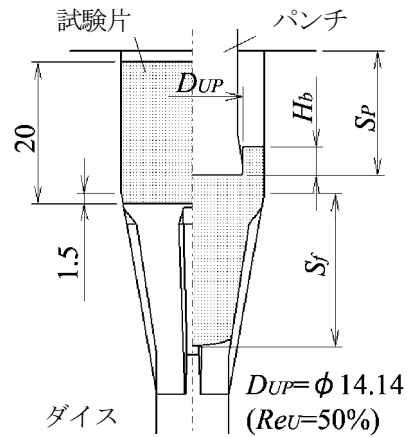


図2 摩擦試験法概略



図3 摩擦試験片の例（左：低摩擦、右：高摩擦）

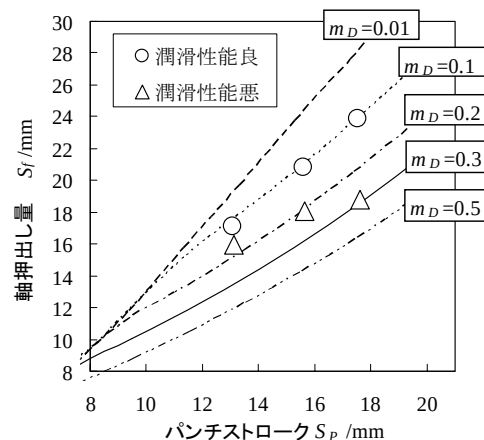


図4 校正線図と実測値の例

表1 突起導入部形状と表面積拡大比の最大値

名称	舟底型小	舟底型大	槍型大
導入部形状			
X_{max}	14	26	200 以上

EM解析で求めた表面積拡大比の最大値 X_{max} を示す。導入部形状と突起高さによって左から順に舟底

型小、舟底型大、槍型大と呼称している。槍型大では200倍以上という高い表面積拡大により、潤滑膜にとって極めて厳しい摩擦状態を再現できる。

前報¹⁾では、焼入れしたアルミ合金A6061-T6にて、本試験法を用いて2液2層型潤滑剤を評価した。2液2層型はフッ化アルミ皮膜と同等以上の性能を示しており、潤滑剤の代替は容易と考えられた。また、皮膜処理前の表面処理としてステンレスグリットを用いたウェットブラスト処理を行うと優れた潤滑性が得られた。単に粗さを大きくするのではなく、粗さが大きくかつ緻密な表面性状を与えることが摩擦低減に極めて有効であった。

4. 焼鈍材での評価結果

焼鈍したアルミ合金A6061-Oに2液2層型潤滑剤とフッ化アルミ皮膜を施して潤滑性能の比較評価を実施した。焼入材では表面性状が潤滑性を大きく左右したので、焼鈍材でもウェットブラスト処理した試験片と旋削仕上のみの試験片を評価した。潤滑膜の平均膜厚は下地膜が $11\mu\text{m}$ 、上塗膜は $3\mu\text{m}$ を狙いとした。

表面積拡大が小さい条件では潤滑剤や表面処理による潤滑性能の差は現われにくい。焼鈍材でも舟底型小のダイスでは潤滑性能に差がみられなかった。舟底型大での S_p に対する m_D の変化を図5、槍型大での変化を図6に示す。図5では m_D の差はわずかであるが、表面積拡大が大きくなると図6のように潤滑性能の差が明確となる。表面処理による潤滑性能の差は小さく、図6で2液2層型にわずかな差がみられる程度である。一方で図6では潤滑剤による差は明確で、フッ化アルミの方が低い摩擦を示した。2液2層型では槍型大で金型への凝着こそみられなかったものの、離型時に音がすることがあり、金型に強く密着していたと考えられる。耐焼付性でもフッ化アルミに分があると判断された。

焼鈍材では表面処理の影響が小さく潤滑剤の差が明確になるなど、焼入材とは全く異なる潤滑特性が得られた。上塗膜の金属石鹸は摩擦熱によってある程度液状化して潤滑性を発揮するとされている。焼入材では表面の凹部が潤滑剤溜りとなってそこから

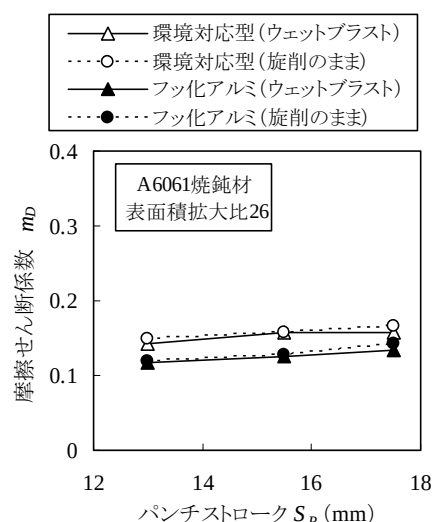


図5 摩擦せん断係数の比較（舟底型大）

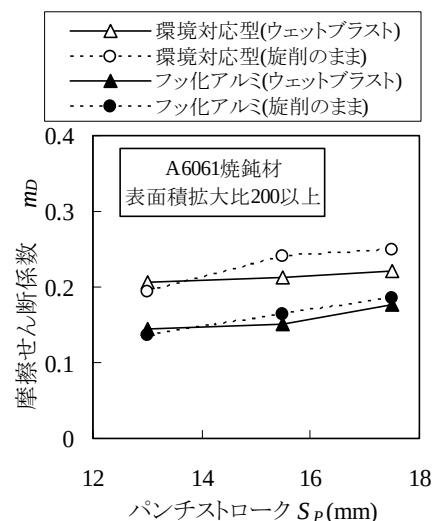


図6 摩擦せん断係数の比較（槍型大）

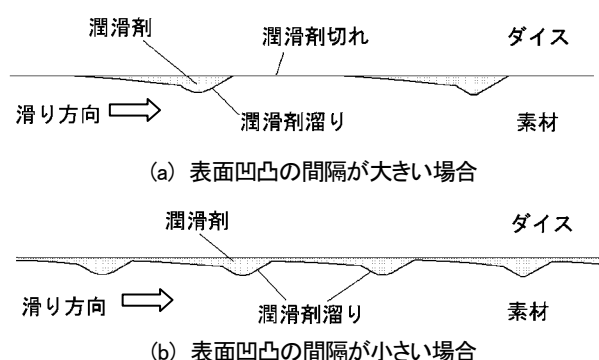


図7 表面性状による潤滑挙動の変化

の金属石鹸の染み出しが摩擦低減に貢献したと考えられる。潤滑剤溜りの間隔が大きいと図7(a)のように潤滑剤切れが生じて高摩擦となる。逆に緻密な凹凸を設けて潤滑剤溜りの間隔を小さくすると図7(b)のように潤滑膜は切れにくく低摩擦になると考えられる。一方、焼鈍材では面圧が小さいため表面性状

に関わらず潤滑剤切れが生じにくかったため、表面処理による摩擦の変化が小さかったと考えられる。

200倍以上の表面積拡大は焼入材ではいずれの潤滑剤でも重度の焼付が生じる極めて厳しい条件である。焼鈍材ではその条件でも焼付は生じておらず、多くの鍛造条件では表面積拡大はこれより小さいため、2液2層型はほとんどの実加工で十分な潤滑性能を発揮できると考えられる。しかし、極端な表面積拡大を伴う鍛造では潤滑剤の代替は制限されてしまう。完全な代替を実現するにはさらなる潤滑性能の向上が必要である。

5. 潤滑性能の向上

槍型大のダイスを用いて高表面積拡大下での潤滑性能を向上させる手法を検討した。評価結果からは図5でも摩擦の差がみられ、上塗膜の潤滑性が不足していることが考えられた。そこで、まず上塗膜の膜厚を変更して試験を実施した。膜厚が薄いと摩擦は上昇するが、2~3 μm 程度の厚さがあればそれ以上膜厚を増やしても摩擦の低減効果は得られなかった。よって現行の膜厚を変更しても潤滑性は向上しないといえる。

上塗膜の主成分である金属石鹼は種類によって軟化する温度（軟化点）が異なるため、摩擦界面の温度に適した金属石鹼があることが考えられた。そこで軟化点の異なるA、B、Cの3種類の金属石鹼を上塗膜に用い、皮膜した試験片を10、30、50℃に加熱冷却した後、摩擦試験を実施した。軟化点はAが最も低く、Cが最も高い。図8に結果を示す。金属石鹼による摩擦の変化は小さいが、金属石鹼Bを冷

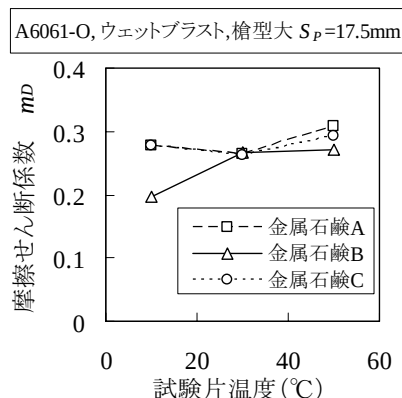


図8 金属石鹼と試験片温度による摩擦の変化

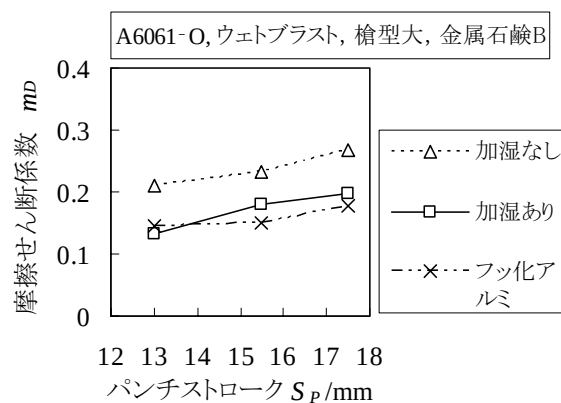


図9 加湿の効果

却した場合のみ摩擦の低下が確認された。中間の軟化点を持つ金属石鹼Bで摩擦が低下したので、この挙動は軟化点によるものではないと考えられた。

金属石鹼Bのみは他と異なり水に不溶である。そのため、冷却した後、外気に触れて結露が生じると上塗膜の上に薄い水膜が形成され、これが摩擦を下げていたことが考えられた。そこで上塗膜として金属石鹼Bを皮膜した試験片を加湿機の蒸気にあてて、結露と同様の状態にして試験を行った。図9に示すように摩擦は低下し、高表面積拡大下でもフッ化アルミ皮膜と同等の摩擦を得ることができた。摩擦低下は温度によるものではなく、水膜によるものといえる。なお他の金属石鹼ではこのような摩擦低下はみられず、この現象は水に溶けない上塗膜に特有な現象と考えられる。乾燥皮膜潤滑剤は水溶性の皮膜が用いられることが多く、湿度や水分によって皮膜強度が低下するため、このような手法は一般には使用できない。上塗膜に非水溶性の膜を用いたことによる効果といえる。

6. まとめ

スプライン押出しを模擬した摩擦試験法をもちいて、アルミ合金焼鈍材での環境対応型潤滑剤の性能の評価と改良を行い、以下の結論を得た。

- 1) 焼入材では重度の焼付を生じたような高い表面積拡大でも、焼鈍材では焼付くことなく成形が可能であった。
- 2) 焼入材と異なり、焼鈍材では表面処理の潤滑性能を向上させる効果が小さい。
- 3) 200倍以上という極端に大きい表面積拡大下で

【報告】

はフッ化アルミ皮膜の方が2液2層型より優れた性能を示した。一般的な鍛造での表面積拡大の範囲では潤滑剤の代替は可能と考えられる。

- 4) 皮膜処理した2液2層型潤滑剤を加湿することで高表面積拡大下でもフッ化アルミと同等の潤滑性を確保できた。

参考文献

- 1) 鷺坂芳弘他：アルミ冷間鍛造における環境対応型潤滑剤の性能評価（第1報），静岡県工業技術研究所研究報告，第4号，73-74（2011）．
- 2) 樫村徳俊他：簡易設備・短時間処理可能な冷間鍛造用水溶性潤滑剤の開発，塑性と加工，第41巻第469号，109-114（2000）．
- 3) 石橋 格他：環境対応型冷間鍛造用潤滑剤の開発・評価・実用化，塑性と加工，第52巻 第611号，1263-1267（2011）．