

技術資料

Technical Data

ステンレス鋼の冷間鍛造における 水溶性塗布型被膜潤滑性能

宮地佑輔^{*1}, 前田和樹^{*2}

Lubrication Performance of Soluble Coating for Stainless Steel Cold Forging

Yusuke MIYACHI and Kazuki MAEDA

Synopsis

Ferritic stainless steel is used to cold forge components for good formability. In the case of the cold forging process, high-performance lubrication is required to reduce forging load and achieve long die life. Generally, oxalate coating is used in order to ensure the lubrication performance, but the waste generated in the coating process causes environmental problems. Therefore, lately, application of soluble type coating which can improve the environmental problems has increased.

In this study, we evaluated lubricating performance of soluble type coating with our original lubricant evaluation test.

In the results of the test cases for the plurality of the coating, the soluble type coating of calcium stearate showed higher lubricating performance compared to that of the conventional oxalate coating.

1. はじめに

フェライト系ステンレス鋼は、その優れた周波数応答性や耐食性から自動車用排気系センサ部品として利用されており、また軟質で延性に富んでいるため、冷間鍛造による複雑形状への加工が適用されている^{1), 2)}。このため、高性能な潤滑被膜が摩擦の低減による鍛造荷重の軽減や金型寿命の向上の観点から必要不可欠である。ステンレス鋼の冷間鍛造において、高い潤滑性を有していることから多用されてきた潤滑被膜として蓚酸塩被膜がある³⁾。しかしながら、蓚酸塩被膜は被膜処理工程において酸洗や化成被膜処理を行うため、廃液処理による環境への負荷が懸念される。近年、環境意識の高まりから、この蓚酸塩被膜に替わって、酸洗処理をすることなく、材料表面に潤滑剤を塗布、乾燥させることによって潤滑

被膜を形成する水溶性塗布型被膜が注目されている⁴⁾。しかし、水溶性塗布型被膜は、化成処理を行わないため一般的に蓚酸塩被膜と比較して密着性が劣り、被膜の脱落、剥がれにより金型への焼付きや肉張り不良を起こす場合がある。そのため、安定して蓚酸塩被膜同等以上の潤滑性を持つ水溶性塗布型被膜の開発が強く望まれている。被膜の潤滑性は①追従性（材料の表面拡がりに被膜が追従するか）、②密着性（材料からの剥がれにくさ）が重要であり、潤滑成分やバインダー、接着成分などによってそれぞれの特性が変化する。

本稿では蓚酸塩被膜の代替となりうるさまざまな種類の水溶性塗布型被膜を実際の冷間鍛造に則した潤滑性評価試験を行い、潤滑性能におよぼす潤滑成分の影響を評価した。

2016年7月25日 受付

* 1 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd)

* 2 共栄社化学(株)金属化学品事業部研究部 (Metal Working Chemical Research DEPT., Kyoeisha Chemical Co., Ltd)

2. 水溶性塗布型被膜

2. 1 水溶性塗布型潤滑剤の特徴

冷間鍛造における潤滑被膜として、ステンレス鋼においては蔞酸が使用されている。蔞酸はステンレス鋼の素地と反応し蔞酸塩被膜を形成する。Fig. 1にその被膜処理工程を示す。アルカリ脱脂などで被加工体表面の油を除去した後、蔞酸と被加工体素地とが反応しやすくするため、硝酸フッ酸などの酸を使用して被加工体表面を覆うクロム、ニッケルおよび鉄などの酸化被膜を酸洗する。次いで水洗を施した後、蔞酸処理槽に一定時間浸漬して化成処理を行う。その後、水洗を行い未反応の蔞酸を中和除去し、乾燥することで蔞酸塩被膜処理が行われる。このように多くの工程を必要とし煩雑であることと反応時に生成する副生成物（スラッジ）が産業廃棄物となり、さらには工程間での水洗で生じる廃水の処理など環境への負荷が大きい。

一方、本稿の水溶性塗布型被膜は反応被膜ではないため、酸洗や工程間での水洗を必要とせず、Fig. 2に示すように塗布または浸漬処理を施し乾燥させる簡易的な工程により被加工体表面に潤滑被膜を形成できる。

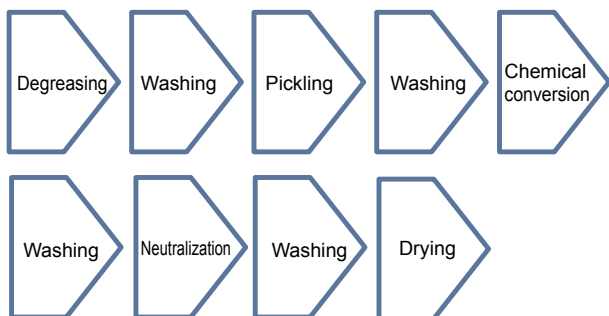


Fig. 1. Chemical conversion treatment process.



Fig. 2. Non-chemical conversion treatment process.

2. 2 水溶性塗布型潤滑剤の潤滑性メカニズム

本稿の水溶性塗布型被膜剤は被加工体表面に吸着しやすい構造を有する水溶性樹脂と水酸化カルシウムを主とした無機物およびカルシウム系金属石鹼からなる潤滑成分より構成される。この水溶性塗布型被膜剤の被加工体表面に形成される潤滑被膜はFig. 3に示すように被加工体表面に水溶性樹脂被膜が吸着し、その水溶性樹脂被膜

に無機物および潤滑成分の混合体が吸着した状態で被加工体表面に被膜を形成する。一般的な無機物や金属石鹼から構成される潤滑被膜とは異なり、本稿の水溶性塗布型被膜はFig. 4に示すような無機物と潤滑成分の混合体が凝集した状態で被膜を形成することが特徴である。そのため外部からのせん断力で容易に凝集体が崩れ、面積拡大に対して被膜が追従し被加工体と工具の焼付きを抑制すると同時に潤滑成分であるカルシウム系金属石鹼により摩擦を低減することができる。さらに、無機物と潤滑成分の混合体であることから無機物単体被膜のような被加工体表面への無機物の転写による押し込み傷も生じ難い。本稿の水溶性塗布型被膜は被加工体表面に凝集体による凹凸が生じることから、伸線加工時における乾式潤滑剤のダイスへの供給性も良好である。

これら水溶性塗布型被膜と乾式潤滑剤により形成された混合潤滑被膜の模式図をFig. 5に示す。従来の物理被膜にはない被膜の密着性および展延性を発現することができ、反応性被膜と同等の冷間鍛造加工性が期待される。

そこで本稿ではこの水溶性塗布型被膜を施したフェライト系ステンレス鋼を用いて冷間鍛造の加工状態を模擬した潤滑性評価を行った。

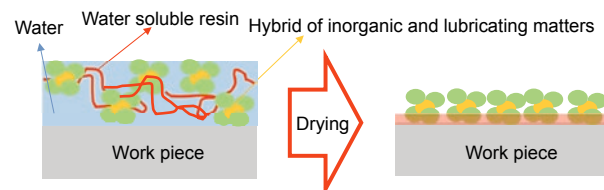


Fig. 3. Model of forming non-chemical conversion coat.

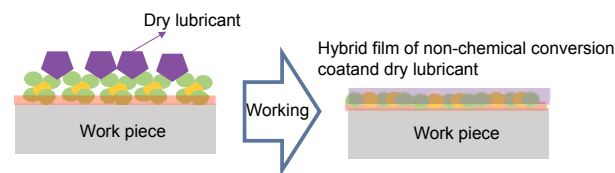


Fig. 4. Image of agglomerated inorganic and lubricating matters.

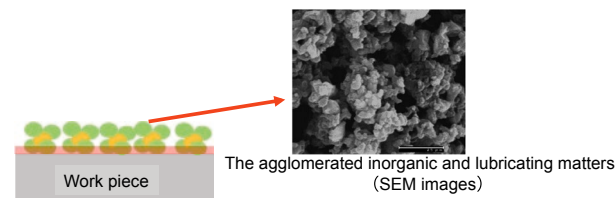


Fig. 5. Hybrid film of non-chemical coat and dry lubricant.

3. 試験方法

3. 1 供試材および被膜成分

本研究で使用した供試材の成分を Table 1 に示す。SUS430 はフェライト系ステンレス鋼であり、その高い加工性と優れた耐食性、磁気特性を活かしてさまざまな構造部材に使用されている。今回評価した水溶性塗布型被膜 4 種類の主成分を Table 2 に示す。Lub. A はステアリン酸 Ca が主成分、Lub. B は水酸化 Ca 系、Lub. C は MoS_2 + 黒鉛系、Lub. D は高分子樹脂系である。Lub. E は蓚酸塩被膜を施した化成処理被膜であり、比較として試験に供した。水溶性塗布型被膜は、 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ に加熱した潤滑剤濃度 15 % の水溶液にサンドブラストによる肌粗しを施した試験片を約 30 秒浸漬し、取り出した後に自然乾燥させた。

また、塗布時の水溶液濃度が潤滑性へおよぼす影響を確認するため、15 % に加えて 5 %、10 %、20 % の水溶液濃度で試験を実施した。

Table 1. Chemical composition of work piece (mass%).

Material	C	Mn	Cr	Ni	Si	Fe
SUS430	0.027	0.38	16.16	0.19	0.27	Bal.

Table 2. Lubricant used for test.

Lubricants name	Basic lubricants	Mark
A	Calcium stearate	○
B	Calcium hydroxide	×
C	Graphite	△
D	Polymer	□
E	Oxalate coating	◇

3. 2 潤滑性評価試験

当社では鍛造時の線材被膜の潤滑性評価を目的としたフランジヘッダー試験を実施している。Fig. 6 に示すように円柱試験片の上下端面を拘束し、ボルトの成形を模して線材側面を張り出させ、線材表層の潤滑性能評価を行う試験法である⁵⁾。パンチ上部のロードセルで測定した鍛造荷重から側面に付着した被膜の潤滑性を、KO 荷重から金型への焼付き度合いをそれぞれ定量的に評価する構造となっている。一般的な潤滑評価試験であるリング圧縮試験⁵⁾では、鍛造時の接触界面の拡がりを示す表面積拡大比が 2 程度しかなく、実際の冷間鍛造で生じる表面積拡大比を十分に網羅できない。Fig. 7 に示すようにフランジヘッダー試験は表面積拡大比が 14 程度と

大きく、実際の冷間鍛造における加工状態をより正確に再現可能となっている。Fig. 8 に下金型写真を示す。下型は試験中 100°C に加熱し、潤滑剤が変わるごとに研磨を実施する。

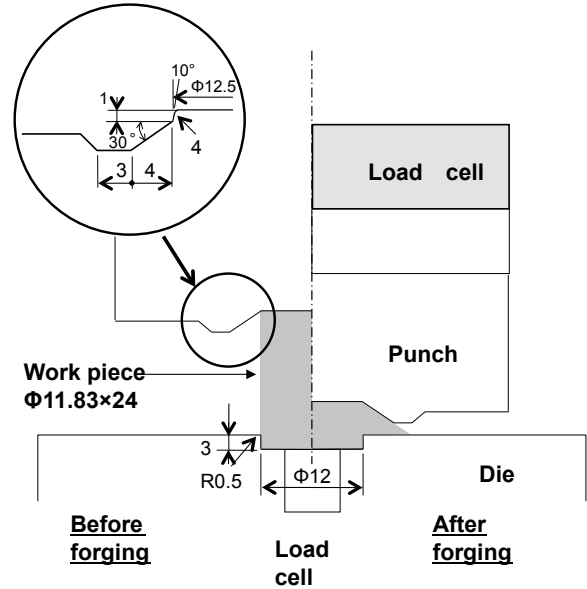


Fig. 6. Schematic illustration of flange header test.

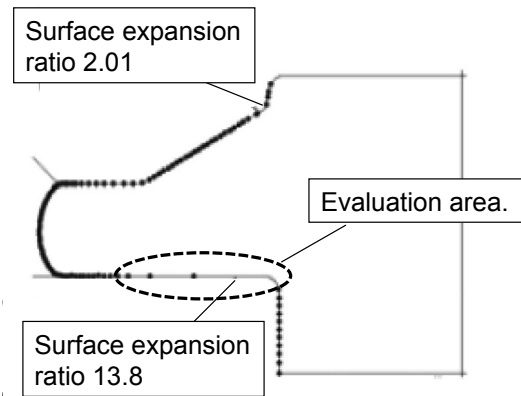


Fig. 7. Surface expansion ratio at flange header test.



Fig. 8. Outlook of flange header test.

4. 実験結果および考察

4. 1 フランジヘッダー試験結果

Fig. 9 に成形荷重と KO 荷重の関係を示す。潤滑性および耐かじり性が良好なものほど左下に位置する。調査した水溶性塗布型被膜の中で蓚酸塩被膜よりも、成形荷重が低い潤滑剤はステアリン酸 Ca 系 (Lub. A) だった。KO 荷重は蓚酸塩被膜が最も低位であるがステアリン酸 Ca 系との差はわずかであった。水酸化 Ca 系 (Lub. B) は成形荷重, KO 荷重ともに高く, MoS₂+ 黒鉛系 (Lub. C), 高分子樹脂系 (Lub. D) は成形荷重は蓚酸塩被膜と同等であったが KO 荷重が若干高い結果となった。Fig. 10 に試験後の試験片外観写真を示す。蓚酸塩被膜, ステアリン酸 Ca 系被膜の試験片にはかじりが少なく, 金型への焼付きもなかった。

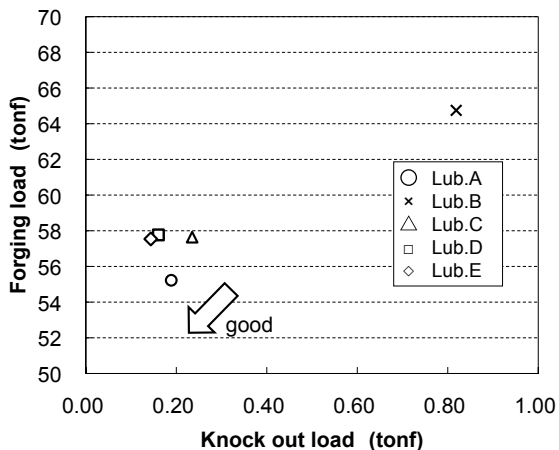


Fig. 9. Relationship between forging load and knock out load with several lubricants.

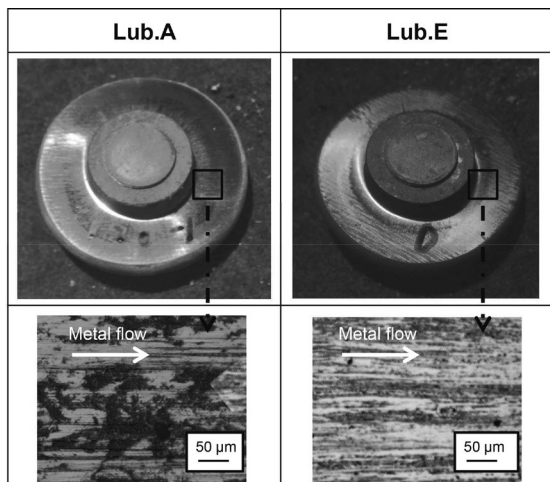


Fig. 10. Photos of formed workpiece pieces (Lub. A and Lub. E) and SEM images.

4. 2 水溶液濃度の影響

Fig. 11 に各濃度ごとの被膜塗布後の試験片外観写真と被膜重量を示す。水溶液濃度が高いほど被膜付着量が多い。Fig. 12 に潤滑試験成形荷重と濃度の関係を示す。潤滑性を示す成形荷重は濃度 10% が最も低い値であり, それ以上濃度を上げても成形荷重に大きな変化はなかった。濃度 5% の成形荷重は他の条件と比較して若干増加する傾向がみられた。

Concentration of lubricant (%)	5	10	15	20
Photo				
Coating weight (g)	0.06	0.11	0.18	0.30

Fig. 11. Coated work piece and coating weight against several concentration of lubricant.

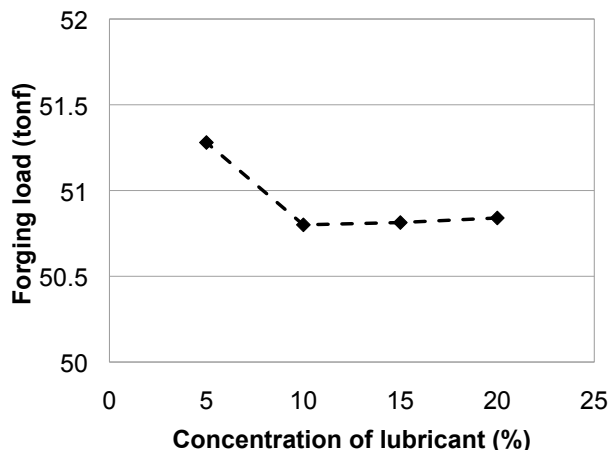


Fig. 12. Relationship between forging load and concentration of lubricant.

5. おわりに

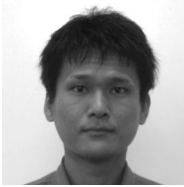
ステンレス鋼の冷間鍛造における蓚酸塩被膜の代替被膜として水溶性塗布型潤滑剤の潤滑性能をフランジヘッダー試験により調査した結果, 以下の結論を得た。

- 1) ステアリン酸 Ca 系の水溶性塗布型被膜は蓚酸塩被膜対比で同等以上の潤滑性能を示した。
- 2) ステアリン酸 Ca 系の潤滑剤において, 水溶液濃度が低い場合は鍛造荷重が増加する傾向にあった。安定した潤滑性能を発揮するには, 適切な濃度管理をすることが重要である。

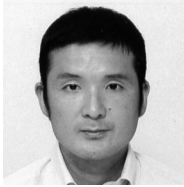
実際の製造においては、鍛造油との混合や加工中の温度上昇、被膜の劣化などさまざまな課題がある。今後、さらに潤滑境界条件を実加工に近い評価方法で、さまざまな影響要因を解明し、塗布型被膜の開発を進めていく所存である。

(文 献)

- 1) 濟木弘行: 特殊鋼, 48(1999), 7, 35.
- 2) 堂田邦明, 齊藤正美, 王志剛, 河合望: 塑性と加工, 36(1995), 409, 134.
- 3) 小山隆, 澤崎嘉彦: 塑性加工シンポジウム 145(1992), 77.
- 4) 横山東司: プレス成形, 2(2004), 9, 16.
- 5) 伊藤樹一, 吉田広明, 五十川幸宏, 堂田邦明: 塑性加工連合後援会論文集, 56(2005), 613.



宮地佑輔



前田和樹