



# 冷間鍛造の潤滑皮膜形成プロセスにおける ウェットブラストによる素材前処理の効果検証

橘 和寿<sup>1</sup>, 正木 敏裕<sup>2</sup>, 北村 憲彦<sup>3</sup>

1 マコー株式会社, 2 名古屋工業大学大学院生, 3 名古屋工業大学

キーワード：冷間鍛造, 表面処理, 潤滑剤, トライボロジー

## 1. 測定実施日

2021年6月15日 BL6N1 (1シフト)  
2021年7月21日 BL6N1 (1シフト)  
2021年10月15日 BL6N1, BL5S1 (2シフト)  
2021年11月18日 BL6N1 (1シフト)  
2021年12月7日 BL6N1 (1シフト)

## 2. 概要

リン (P) 系極圧添加剤を含む環境対応型 1 液潤滑剤を鋼材表面に塗布し, その後単軸圧縮した試験片端面について XAFS 測定を行った結果, リン化鉄及びリン酸鉄の生成が確認された. 潤滑剤塗布前の下地処理としてウェットブラスト (以下 WB) を施したものは, リン酸鉄の混成割合が多かった. 未圧縮の試験片についても同様の測定を行ったところ, やはりリン化鉄及びリン酸鉄の生成が確認できた. 下地処理の有無によって両者の混成割合に差があり, 下地処理として WB を施したものでは, 圧縮片と同程度のリン酸鉄が生成していた. 以上のように, 潤滑効果を高めるリン酸鉄の生成が WB によって促進されることが明らかになった.

## 3. 背景と研究目的

自動車部品の製造などに用いられる冷間鍛造では, 被加工材と金型界面の潤滑として, 1 液潤滑剤 (以下, 1 液) と呼ばれる非化成処理型の潤滑剤が注目されている. 冷間鍛造の被加工材である素材に塗布後, 乾燥するだけで固体潤滑被膜を形成できるものであり, 従来の化成処理型被膜に対して被膜生成プロセスにおける消費エネルギーや廃棄物などが少なく, 環境負荷が小さいという点で特に優れている. しかし素材に固体潤滑被膜が機械的に付着しているだけであるため, 成形加工中に剥離しやすく, 素材と金型が凝着しやすことから適用範囲が限られている. SDGs の観点から, 素形材に関わる業界においても, この潤滑剤の実用性を高めることが切望されている.

近年, 素材と潤滑被膜の密着度を上げることが凝着防止に有効であることが経験的に認められ, マクロな摩擦現象を扱う塑性加工のトライボロジーにおいても, 素材への WB 下地処理による潤滑性能の向上が報告されるようになってきた<sup>1,2</sup>. しかしながら, 課題として認識されている成形加工中の被膜密着性及び残存性を向上させるメカニズムの解明はなされていない.

一方, WB は研磨材と水を混合させたスラリーを圧縮エアで加速させ, 素材に衝突させ, 表面を研削しながら粗化する前処理工法である. 研削された素材表面がたちまち水に覆われることで, 大気中よりも酸化が抑えられるため, 次工程において活性な表面を利用しやすいという特長を持つ.

本実験では, 1 液を塗布した鋼材表面に対して XAFS を用いて, WB 下地処理の有無による鋼表面生成被膜の違いについて分析し, 被膜の密着性及び残存性向上のメカニズム解明につなげる.

## 4. 実験内容

### 4.1 試験条件

試験片材質は S10C（球状化焼きなまし S.A.）で、直径 10 mm に旋削加工したものを用いる。この試験片に Table 1 に示す条件にて潤滑前処理を行ったのち、1 液を塗布する。1 液の塗布については、試験片、潤滑剤ともに室温とし、試験片を潤滑剤液に浸漬する。試験片を潤滑液から引き上げた後にドライヤーで乾燥し、固体潤滑被膜を形成する。

圧縮試験片については高さ 15 mm で、潤滑被膜形成後、上下平坦で平滑な型を用いて、厚み 4 mm（圧縮率 74%）になるまで、油圧プレスにより平均速度 10 mm/s で圧縮する。圧縮前後の試験片外観を Fig.1 に示す。

Table 1 試験片処理条件

	脱脂①	脱脂②	WB①	WB②
潤滑前処理	エタノール脱脂	←	ウェットブラスト	←
ブラスト投射材	—	—	ステンレスグリット 0.14 mm	←
圧縮率%	74	0	74	0

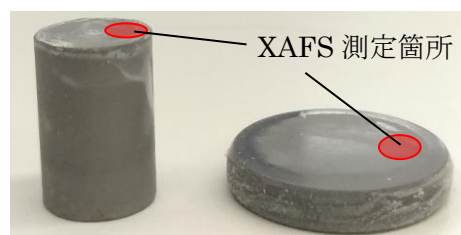


Fig.1 圧縮前後の試験片外観

いずれの試験片も XAFS 測定前にアルカリ溶液中で超音波洗浄し、化学結合していない 1 液成分を除去する。なお 1 液成分が十分除去できているかの判断には EDX を用い、Fe に対する C の割合が素材のエメリー紙による研磨面と同等であることを確認する。また 1 液成分と化合物の比較のため、超音波洗浄前の潤滑被膜についても XAFS 測定する。

### 4.2 XAFS 測定法

P-K-edge の XAFS 測定は、BL6N1 において、部分蛍光収量法と転換電子収量法にて行う。

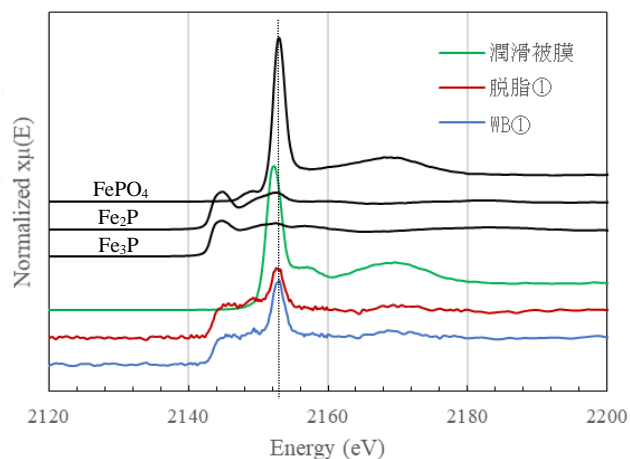


Fig.2 圧縮片の XAFS 測定結果

## 5. 結果および考察

Fig.2 に圧縮片の XAFS 測定結果を示す。いずれの試験片のスペクトルにも、潤滑被膜とは異なるピークと、潤滑被膜にはないプリエッジが見られる。これは試験片表面に潤滑被膜が残存してピークが出現しているのではなく、潤滑被膜とは異なる化合物が存在することを示している。リン化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{P}$ ,  $\text{Fe}_3\text{P}$ ) 及びリン酸鉄 ( $\text{FePO}_4$ ) の標準試料と比較すると、それらが混成したスペクトルであることが判る。一般に極圧添加剤成分は熱によって金属と反応してリン酸化物等、融点の高い化合物を形成する<sup>[3]</sup>とされており、圧縮変形時に生じた熱、および表面積拡大による活性な新生面の発現による反応で、化合物を

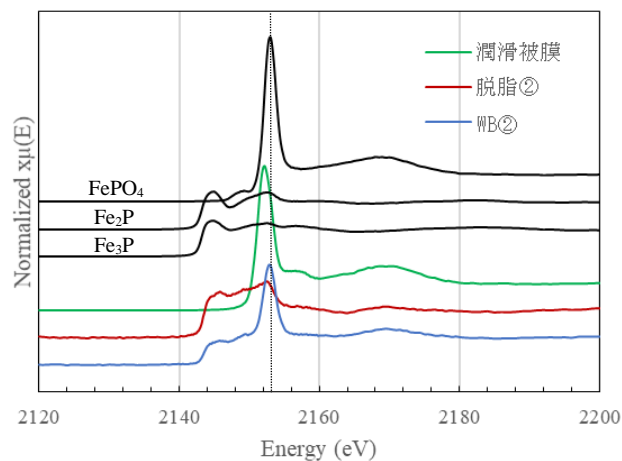


Fig.3 未圧縮片の XAFS 測定結果

形成したものと考えられる。このとき、潤滑前処理として WB した試験片では、より高いリン酸鉄のピークを示している。両者の化合物には混成割合が変わり、WB により、潤滑に有効とされるリン酸鉄が増えていることを示唆している。

Fig.3 に未圧縮試験片の XAFS 測定結果を示す。いずれの試験片にもリン化鉄とリン酸鉄の混成したスペクトルが見られたが、脱脂した試験片については圧縮後に見られたリン酸鉄のピークが著しく低い。これに対し、WB した試験片は圧縮後と同様のスペクトルを示しており、下地処理により生じた活性面によって、高面圧や高温という条件下でなくとも、リン酸鉄が形成されたといえる。

## 6. 今後の課題

本研究により、非化成処理型 1 液潤滑剤と鋼材表面において、化合物としてリン化鉄やリン酸鉄の存在を確認できた。また、従来ほとんど考慮されていなかった鋼材表面の下地処理によって、高面圧や高温という条件下でなくとも、リン酸鉄が形成されることが明らかになった。この化合物自身が凝着防止に作用する、あるいは鋼材表面と非化成処理型の固体潤滑被膜の親和性を高めることで、被膜残存性の向上に寄与していることが期待できる。

今後、本結果と鍛造試験で得られるマクロな潤滑特性評価との相関を得ることで、鋼材表面と潤滑被膜の密着メカニズムを理解し、より強固な結合を得るための潤滑剤と冷間鍛造プロセスの設計に活用していく。

謝辞：本研究を進めるにあたり、あいちシンクロトロン光センターの渡辺義夫様、柴田佳孝様より多大なるご指導を賜った。また大同化学株式会社様には 1 液潤滑剤のご提供、ならびに潤滑膜の除去洗浄でご協力いただいた。記して謝意を表す。

## 7. 参考文献

1. 中村保：塑性と加工, 56-650 (2015-3), 186-190.
2. Kenichiro OSHITA, Mutsumi YANAGI, Yasuhiro OKUDA, Shinobu KOMIYAMA, Zhigang WANG：日本パーカライジング技報 No.31 (2019), 8-21
3. 山口永人、八木大輔、大山雄介、奥津晶彦、中辻武：神戸高専研究紀要第 48 号(平成 22 年)