

# ルブロイド処理による 金型の摩擦低減と耐摩耗性向上

(株)アーステック

松田 武\*

近年、自動車業界をはじめ各製造の舞台で活躍する機械設備の摺動機構にはさまざまなトライボロジー技術が駆使されている。なかでも製品の良否を決定づける各社のノウハウが結集した、加工技術の心臓部とも言える金型では、母材・部材の材質はもちろん、表面改質処理や流体・固体潤滑剤などトライボサーフェスの機能付加においてドライ・ウェット条件とともにさまざまな技法や処理工法が追究されている。

本稿では、金属摺動面に強靱なナノ・トライボフィルムを形成し超潤滑性能を機能付加するルブロイド®処理をまったく新しい表面改質処理（セミドライコーティング）として紹介する。

## 開発の背景 （プレス・鍛造金型対応への歩み）

潤滑剤メタルコンディショナー LUBROID®（以下、ルブロイド）の流体潤滑におけるメタルレスキューの一例を紹介する。冷間鍛造機の高速運転時、ジャーナルメタル潤滑不良による過負荷（メインモータ過電流）が発生し、緊急停止した。ルブロイド原液を強制給油しながらインチングで15分間運転した結果、電流値95A→40A、メタル温度50℃→30℃へ低下し、正常値に戻った。連続運転を再開し、製造を続行できた。

本来、ルブロイドは流体潤滑の分野で使用される塩素フリーの極圧潤滑剤／添加剤として開発された。摩擦熱が発生する境界潤滑や面圧が高い高負荷の極圧潤

滑状態では、トライボケミカル反応皮膜（トライボフィルム）が形成されメタル焼付き（融着）やかじりの発生が強力に防止される。また、金属摺動条件の中で最も過酷と言える切削加工では、切削工具の摩耗や構成刃先付着（融着）が防止され、加工性が向上し刃具寿命が延びる。これらの効果の要因はルブロイド独自の強靱なトライボフィルムによるもので、その皮膜形成原理を表面処理工法として確立したのがルブロイド処理である。

加工油を使用しないドライ切削においても刃具寿命の延長にめざましい効果が確認されており、ここ数年、塑性加工・切削加工の分野で金型・治工具などヘルプロイド処理を導入するユーザーが急激に増えている。

## 超極圧潤滑剤「ルブロイド」と ルブロイド処理の概要

金型への表面改質処理では、湿式法の機能性めっきからCVD・PVD処理やDLCコーティングなどの乾式法まで、さまざまな固体皮膜の表面処理が活用されている。ルブロイド処理は金属母材素地表面だけでなく、それらほかの表面処理との複合により相乗効果も引き出すセミドライ・コーティングである。

ルブロイド処理では、超極圧潤滑剤である「ルブロイド LE-1000」を表面処理液として使用し、一定の条件下で熱エネルギーを与えることにより金属表面に超薄膜のトライボフィルムを形成する。それは被処理物の形状に関係なく均一に形成され、金属表面の特性（硬さ・面粗さ・色など）を変えることなくトライボマテリアルとして低摩擦（摩擦係数：0.088）の自己

\*Takeshi Matsuda：代表取締役 技術センター長  
〒409-1502 山梨県北杜市大泉町谷戸 4958  
TEL (0551) 38-1438

潤滑性と耐摩耗性能の機能付加が可能である。鍍防止効果も非常に高く、処理液はシール・パッキンなどゴム・樹脂部材を変質させない。

## ルブロイド処理の性能評価

ルブロイド処理によって形成されるトライボフィルムは、プレス・鍛造機械などの摺動部をはじめ塑性加工の金型から切削加工の刃具・治具に至るまで金属同士の高負荷摺動条件におけるかじり・焼付き（融着）を防止する。以下では4つの異なる視点から実験を行い確認した。

### 1. TIMKEN 摩擦試験機による耐摩耗性能評価

トライボフィルムの耐摩耗性能を摺動試験機（ステップ加重方式固定荷重型 TIMKEN 摩擦試験機）によって、優れた低摩擦特性で知られる ZDDP (ZnDTP) 油剤の常時給油条件と対比して確認した（図1）。実際、ルブロイド処理試験片の摺動痕の面積より摺動面圧を計算すると、面圧 34,430 kgf/cm<sup>2</sup> での高負荷摺動の条件下でも焼付き（融着）のない摺動を可能にしていることがわかる。

### 2. リング圧縮試験による塑性加工特性の確認

被加工材は S45C 製リング試験片（内径 5 mm、外径 10 mm、高さ 7 mm）、2,000 kN 油圧プレスにて加工速度 5 mm/s 一定で加工量を圧下率 40%・50%・60%・70%（一気に加工）とし、実験対象の潤滑材（剤）は、ルブロイド処理・ルブロイド原液・ボ

ンデ処理・ワセリン・VG100 と無潤滑（エタノール脱脂）の6条件とした。このリング圧縮試験では、図2のように加工後、内径の縮小率と圧下率を測定する。同一圧下率では、内径縮小率が小さいほど摩擦が小さい。図3の実験結果のとおりルブロイドがボンデ処理より高い潤滑性を示している。一方、ワセリンと VG100 は圧下率 70% で急に悪化している。有限要素法（FEM）解析で得られた較正曲線（摩擦係数ごとの圧下率-内径縮小率関係）から各圧下率での摩擦係数を求め、その結果を図4に示す。ルブロイド処理の潤滑性能の高さが評価できる。

### 3. スパイク試験による塑性加工特性の確認

被加工材は S45C 製スパイク試験片（直径 20 mm、高さ 30 mm）、2,000 kN 油圧プレスにて加工速度 5 mm/s で圧下量を 20 mm（プレス移動量）とし、実験対象の潤滑材（剤）は、上記リング圧縮試験同一の6条件とした。このスパイク試験では、図5のように加工後、高表面積拡大下の潤滑性能を評価する。結果は図6のとおり潤滑性能が良好なものほどグラフ上の左側へ位置し、反比例の関係となる。

リング圧縮試験は 70% 圧下でも表面積拡大比 1~2 程度であり、このような表面拡大の小さい加工の場合、潤滑性能の高さは図3に示すように「ルブロイド処理・原液>ワセリン>VG100>ボンデ処理>脱脂」となる。一方、スパイク試験は局所的に表面積拡大比 3~6 で、このような表面拡大の大きな加工の場合は、

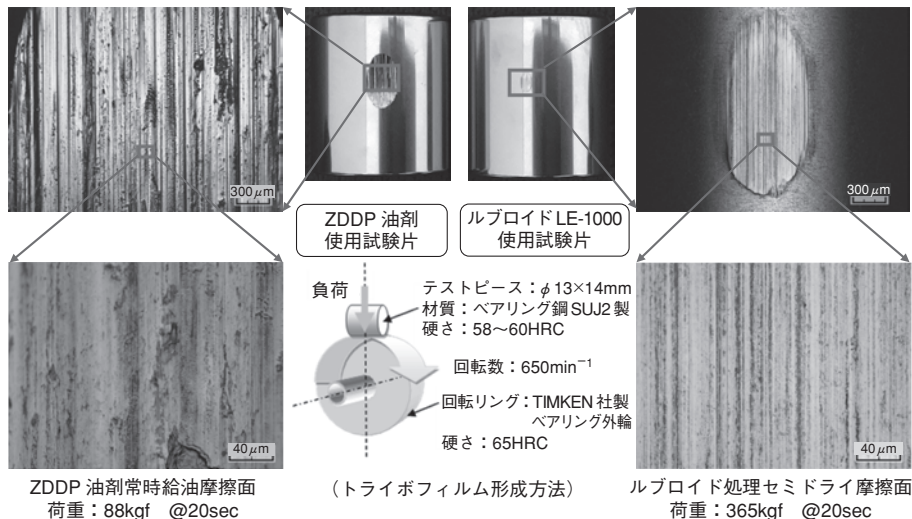


図1 TIMKEN 摩擦試験機による耐摩耗性能評価

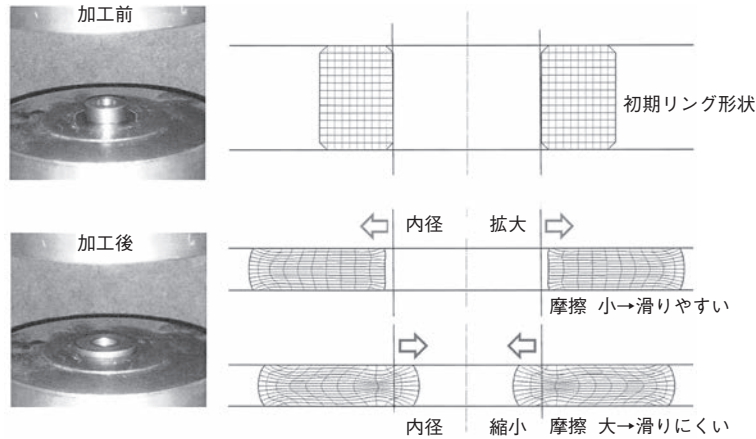


図2 リング圧縮試験評価の概要

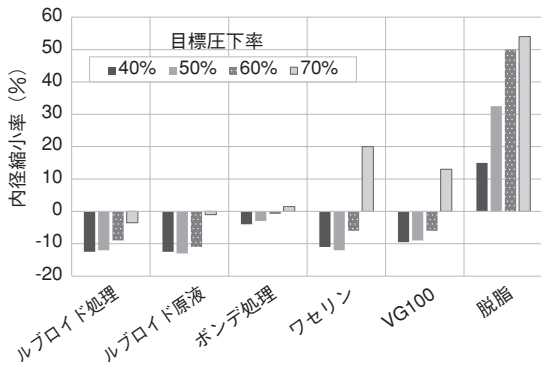


図3 リング圧縮試験の結果

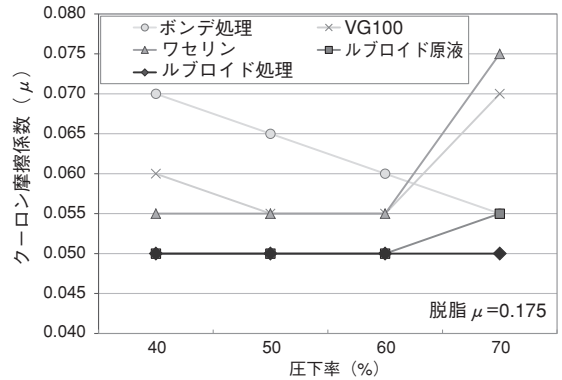


図4 リング圧縮試験による潤滑性能評価（圧下率と摩擦係数）

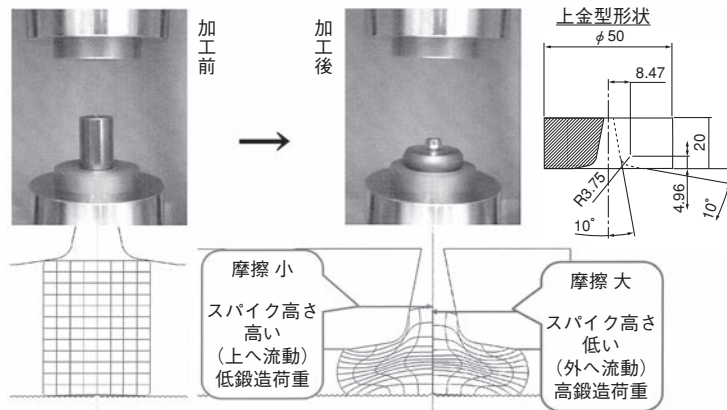


図5 スパイク試験評価の概要

「ボンデ処理＞ルブroid処理＞ルブroid原液＞ワセリン＞VG100＞脱脂」と評価された。

4. 原子間力顕微鏡 AFM による摩擦低減機構の確認  
ルブroid処理のトライボフィルムを原子間力顕微鏡 AFM (Atomic Force Microscope) によりナノメ

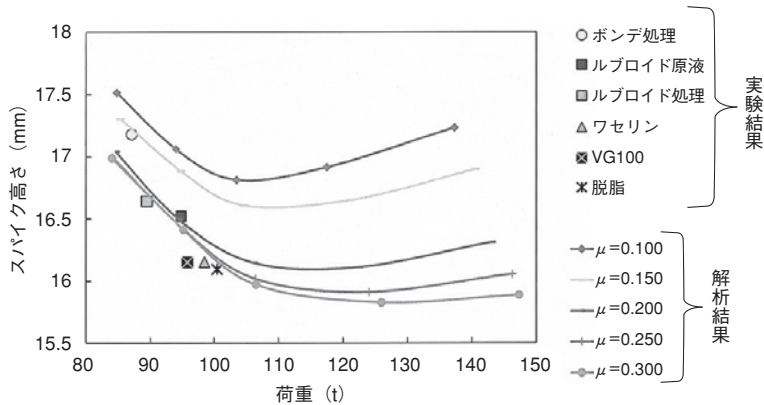


図6 スパイク試験による潤滑性能評価

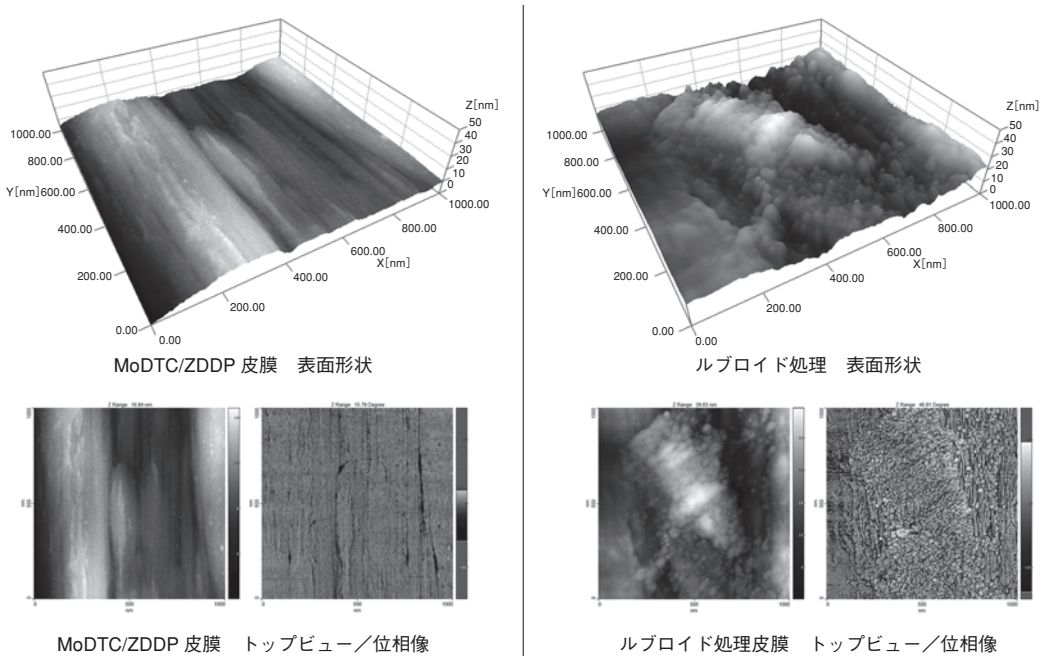


図7 原子間力顕微鏡 AFM 表面形態観察 表面形状立体ビュー

ートルスケールで表面形態解析を行った。加工油にも活用され優れた低摩擦特性と極圧性で知られる添加剤有機モリブデン化合物 MoDTC/ZDDP (ZnDTP) のトライボケミカル反応皮膜と対比しながら、ルブロイドの摩擦低減機構を解明した。表面形状立体ビュー、トップビュー、位相像を図7に示す。

ルブロイド処理表面に観察される筋状模様で、粒が凝集したような形態が観察された。この形態は、MoDTC/ZDDP 皮膜の同様の個所では観察されず、この粒状物がトライボフィルムとして機能し低摩擦と

耐摩耗性を実現することで、高負荷摺動条件下でかじり・焼付き（融着）を防止し高面圧・低摩擦摺動を可能にしていると推察できる。

### 適用事例と導入効果

ルブロイド処理は、金属プレス・冷間鍛造など塑性加工金型、パイプバンダー用曲げ金型、パンチからガイドブッシュ、ボールねじ、スリーブ、ベアリングなどの各金型摺動部で効果を発揮する。具体的には、耐摩耗性向上による摩耗・かじり・焼付き（融着）の防



図8 ルプロイド処理装置 LTS-1000 型

止、寿命延長、精度維持、保管時の錆防止、初期動作時の摺動馴染み、摺動部材の低コスト材料への変更、グリス・オイルなどの無給油化、製品面の傷防止などがあげられる。

ルプロイド処理適用事例とその導入効果を以下に紹介する。

(対象物/材質/摺動条件(潤滑剤など) / →ルプロイド処理導入結果)

- ① コネクター打込み金型高速スライド部品/無給油/SKD11+焼入れで 1,200 万ショット、同母材+DLC で 5,200 万ショット→同母材+ルプロイド処理にて 9,000 万ショット
- ② パンチ SKH+TiN・ダイ超鋼/被加工材 SPC/加工速度 30 SPM/加工油使用で初期から製品に線傷や絞りシワ発生、8,000~1.6 万ショットで傷拡大・絞り傷発生→同パンチ・ダイにルプロイド処理+加工油にルプロイド液添加にて 5 万ショットを超え品質良好
- ③ 光学レンズ成形金型摺動部/成形中に潤滑グリスが染み出し製品付着による不良発生→グリスレス+ルプロイド処理にて無給油潤滑とともに製品の品質良好
- ④ プラスチック射出成形金型のエジェクタピン・エジェクタスリーブ・スライドユニットに摩耗粉による不具合やかじり・焼付きが発生→ルプロイド処理により課題解決
- ⑤ φ16 パンチ SKH51/被加工材 S10C/加工油使用で寿命 2 万ショット→2.6 万ショット
- ⑥ φ16 パンチ SKH51+TiN/被加工材 S10C/加工

油使用で寿命 2.5 万ショット→5 万ショット

- ⑦ ねじ転造ヘッダー#1 ダイ超鋼/被加工材 SCM435/不水溶性加工油使用で寿命約 40 万回(形状不良発生)→270 万回
- ⑧ M16 ねじ転造ロール SKH51/被加工材 S45CF/不水溶性加工油使用で 3.5 万回→5 万回

## 今後に向けた取組み

本稿で紹介したルプロイド処理は、外部の加工会社へ処理委託することなくユーザーサイドで処理が可能である。今後、ルプロイド処理をトライボ要素技術の一つとして捉え、ユーザーにて各製造の使用条件に適應する独自の複合技術として創製され製品開発にも活用展開されると考える。

ルプロイド処理はほかの表面改質処理との複合が可能である。そのため、今後、PVD 処理、ショットピーニング、硬質クロムめっきなどにルプロイド処理を複合することで、より優れた低摩擦・耐摩耗性能を実現し、従来にない摺動部材の長寿命化が期待できる。

当社は市場の要求に応えユーザーサイドで簡易的にルプロイド処理が行える低価格の卓上型処理設備を開発した。まず国内市場向けに、2017 年 10 月より図 8 のルプロイド処理装置 LTS-1000 型の出荷を開始する予定である。これはセミドライのベーキング処理法による表面処理装置であり、従来型のディッピング処理(液浸漬)法に比べ、ルプロイド処理液の消費量は 1/100 以下となり低コスト化を実現した。今後、量産対応を含め処理内容のニーズに応えるノウハウを提供していく。