

ホットスタンピングにおける潤滑特性と影響因子の検討

東京電機大学 工学部 機械工学科

教授 柳田 明

(平成 24 年度 一般研究開発助成 AF-2012022)

キーワード：ホットスタンピング，摩擦係数，通電加熱

1. 緒言

近年、環境問題に端を発する自動車の軽量化や安全性向上といった観点から高強度鋼板の使用が積極的に行われている。これを克服するため組織制御を行った高強度鋼板が開発されてきたが、鋼板強度が 1000MPa を越えると複雑な形状へのプレス成形は困難になる。そこで、高温に加熱することで成形性向上と低スプリングバックを可能とし、1500MPa の強度を持つ部材を得るためホットスタンピングが実用化されている。著者らは、熱間平板引拔を用いた潤滑性評価試験機を開発し、SPHC 鋼を用いて、ホットスタンピングにおける潤滑特性を評価できることを示した^{1,2)}。

試験片の表面性状、金型の表面粗さ、潤滑剤が摩擦係数に及ぼす影響を調査し、金型の表面粗さ $0.2\mu\text{mRa}$ で熱間鍛造用潤滑剤を用いることで摩擦係数をドライの 0.5 から 0.3 まで低減することを示した。試験機 の特性上、引抜き速度と試験片の温度設定を独立して行えない、圧縮力の微調整が困難なことから、引抜き速度や材料の変形抵抗と面圧の関係などの検討が十分になされておらず潤滑特性におよぼす個々の影響因子の検討が必要とされる。

ホットスタンピングの加工プロセスの適用範囲を広げるために、低摩擦化技術、潤滑特性の影響因子の検討を行う。そのために、個々の影響因子を分離した試験を可能とする熱間潤滑評価試験機を開発し、引き抜き速度、加工圧力が潤滑特性に及ぼす影響を調査することを目的とする。

2. 評価試験機の概要

2.1 評価試験機の構成

熱間潤滑性評価試験機の模式図、外観をそれぞれ図 1, 2 に示す。試験機は垂直圧力用の油圧アクチュエータ、通電ロール、張力装置から構成される。試験機の主な仕様は表 1 に示す。油圧アクチュエータにより負される押付け荷重の最大値は 20kN である。出口側引抜き装置はボールネジ装置により駆動し、その最大値は 10kN である。ロードセルにより押付け荷重 P および引抜き荷重 T_F が検出される。通電ロールは走行する板材にも連続的に電力供給を行い通電加熱が行えるように図 3 に示すように製作した。板材の走行に際し、ロールが走行速度と同じ速度で滑らかに回転することで安定した給電が可能となっている³⁾。ロール径は 80mm で幅は 25mm とした。上下ロール間にばねを入れ接触圧を調整できる。給電電源は 5.0kW(最大 600A)を用いた。工具には平行部長さ 20mm、工具肩 R5 の SKD61 を用いる。

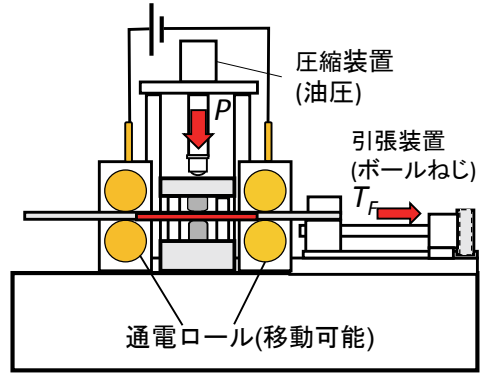


図 1 試験装置模式図

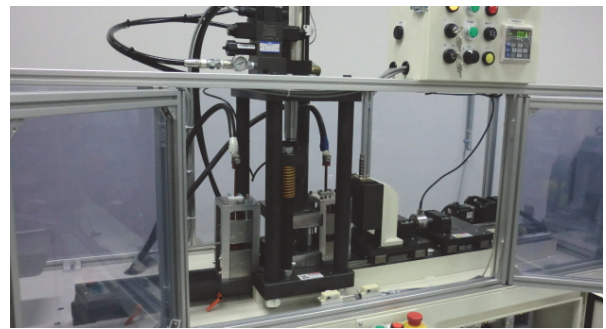


図 2 装置の外観

表 1 試験機特性

Compression load P	Max・20kN
Tension load T_F	Max・10kN
Stroke : compression, tension	50mm, 300mm
Tension speed V	Max・30mm/s

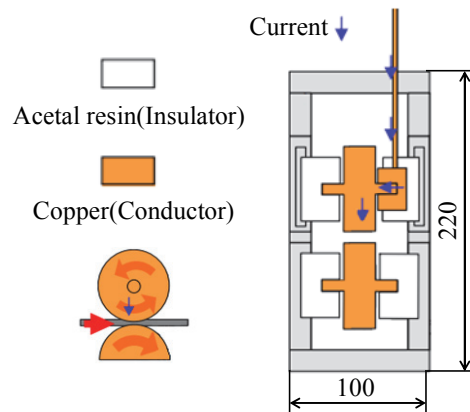


図 3 通電加熱装置の模式図

2.2 実験方法

通電ロールの配置は圧縮工具を(a)挟み込みこむように設置する方法(図1)と(b)手前に設置する2通りの方法がある。(a)の方法では圧縮時に通電を停止する必要があるが均熱部が圧縮工具の直下にあるため、摺動温度を制御しやすい。(b)では、連続的に加熱された状態で試験を行うことができるが、通電ロール出側での温度低下が大きいため今回は(a)の配置を用いた。

試験片の温度は試験片側面にφ1mmの穴をあけK熱電対を挿入して測定する。試験片は通電ロールに通し、端部を引抜き用チャックに取り付ける。通電を開始し、試験片を920℃まで加熱し、加熱開始から4分間経過するまで温度を保持する。その後、電流を止め、一定速度で引抜きを行うと同時に垂直負荷を与えることで摩擦係数の測定を行う。摩擦係数 μ は引張荷重 T_F と圧縮荷重 P から式(1)を用いて算出する。

$$\mu = T_F / 2P \dots (1)$$

2.3 試験材料の昇温特性

試験材料に22MnB5(0.22%C, 1.2%Mn, 0.002%B)鋼板を用いた。Al-Siめっき(付着量80g/m²)が施してある。試験片サイズは幅15mm, 厚さ1.6mm, 長さ450mmとした。電極間距離を230mmとした。入側の加熱ロールの直下を基準として100mmの位置をA点(圧縮工具の入側)としそこから20mm手前の位置をB点とし、試験片側面にK熱電対を挿入した。図4に昇温特性を示す。電極間の中心に近いA点の温度がB点と比べてやや高い結果となったが摩擦係数を測定する範囲での均熱性は高い。

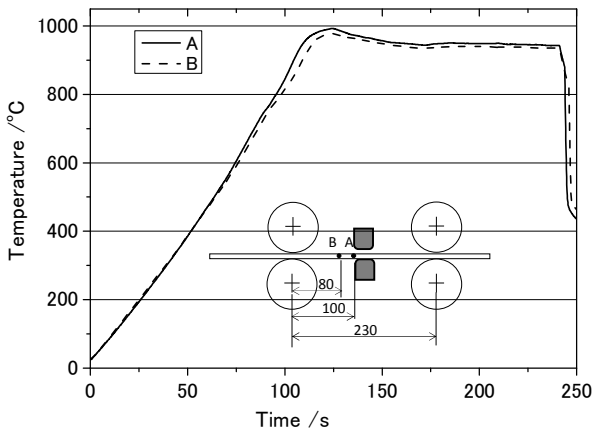


図4 昇温特性(t=1.6mm, w=15mm)

2.4 標準的な摩擦係数の測定例

測定例として、引抜き速度10mm/sで、圧縮荷重を1.0kN(面圧3.3MPa)として引抜きを行った。エメリー紙を用いて、引抜き方向に垂直に研磨し、工具粗さはRa=0.2 μ mに調整した。図5に温度と荷重の測定例を示す。総加熱時間240sで給電を停止し試験片を移動させる。2秒後に加圧を開始する。図より移動時は23℃/sで冷却され、A点は890℃で工具へ導入され、工具に接触することで500℃まで温度が低下する。B点では入側で

840℃、出側での温度500℃となった。工具温度が上昇するので引抜き後の温度はB点の方がわずかに高くなっている。圧縮荷重はやや変動がみられるものの均一に負荷されていることわかる。

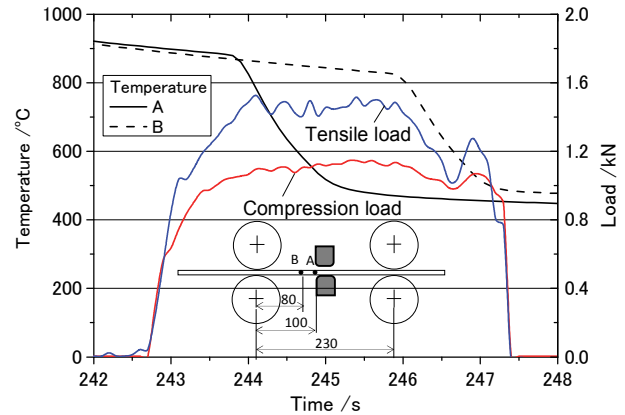


図5 摺動時の温度と荷重の測定結果((V=10mm/s, P=1kN)

図6に図5の圧縮荷重と引張荷重より得られた摩擦係数を示す。摩擦係数は8mm程度の摺動距離で0.5に達し、その後の変化は比較的小さい。

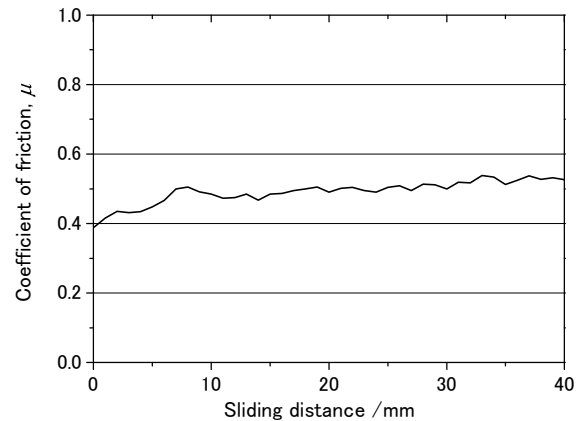


図6 摩擦係数と引抜き距離の関係

3. 実験方法

試験片は、2.3節と同一の材料を用いた。電流を流し、試験片を約2分で900℃まで加熱し、加熱開始から4分間経過するまで温度を保持した。4分間経過後、電流を止め6秒間空冷を行う。その後、垂直負荷を与えると同時に試験片を一定速で引抜きを行う。摺動開始時の試験片温度は800℃程度となる。表2表に熱間潤滑評価試験の実験条件を示す。図7に引抜き速度10mm/sにおける各荷重での引抜き距離による変化を示す。図7より引抜き距離が2~26mmにおいて圧縮荷重が安定していることが分かる。そこで、圧縮荷重は引抜き距離2~26mmの平均が0.5kN~0.8kN, 0.8kN~1.2kN, 1.2kN以上の3種類になるように行った。2.0kN以上の荷重では引抜き時に試験が破断してしまった。荷重変動がみら

れるが、代表荷重値として 0.7, 1.0, 1.5kN として表記する。平均面圧はそれぞれ、2.3, 3.3, 5.0 MPa となる。

表 2 実験条件

Compression load	0.5~1.5kN
Electric current	230~300A
Sliding distance	30mm
Sliding velocity	3, 10, 20mm/s
Distance between electrodes	230mm

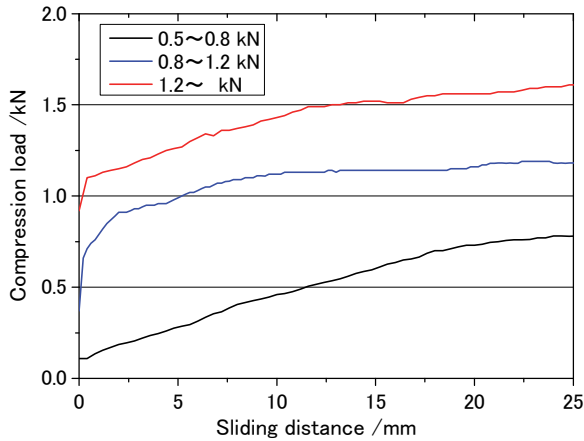


図 7 圧縮荷重と引抜き距離

4. 結果と考察

4.1 引抜き距離と摩擦係数

図 8 に圧縮荷重 1kN における引抜き速度別の摩擦係数の一例を示す。この結果から、引抜き距離が 2mm 以降で摩擦係数が安定していく傾向にあることが分かる。また通電加熱がアルミめっきの合金化に及ぼす影響も調査する必要がある。

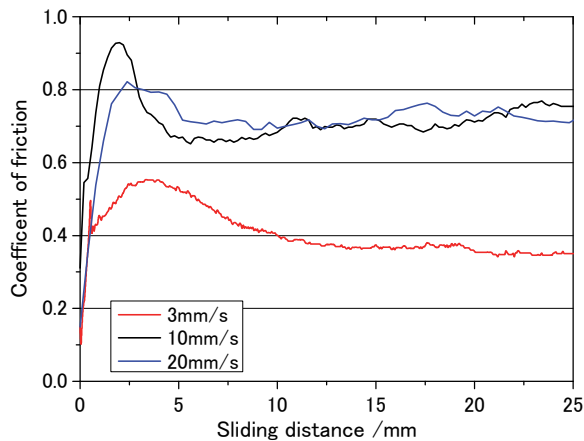


図 8 摩擦係数と引抜き距離

4.2 引抜き速度の影響

図 9 に引抜き距離 2~26mm の引抜き速度による摩擦係数の平均値の変化 μ_m を示す。この結果より引抜き速度が遅いと摩擦係数が低くなるのが分かる。これは引抜き速度が遅いため、試験片温度が低下したことが原因とも考えられる。そこで時間による摩擦係数の平均を行った。図 10 に引抜き時間 0.2~1.2s の引抜き速度の違いによる摩擦係数の平均値の変化 μ_s を示す。この結果からも引抜き速度が遅いと摩擦係数が低くなり、一定以上の速度になると摩擦係数が一定になることが分かる。これらのことから引抜き速度が遅いと摩擦係数が低くなると考える。図 11 に引抜き後の工具表面写真を示す。引抜き速度 10mm/s, 3mm/s とともに表面にアルミめっき層が付着していることが確認された。光の当たり方により見え方が異なっているが、10mm/s の方がその付着量は多い。図 12 に引抜き後の試験片の表面写真を示す。いずれの速度においてもスクラッチ痕が確認され、掘り起し現象による摩擦の増加が摩擦係数の引抜き速度の依存の主たる原因ではなく、引抜き速度が遅いと工具-材料界面の温度が低下するため、アルミめっき層の接触界面での状態が異なるために摩擦係数が変化するのはないかと推測される。

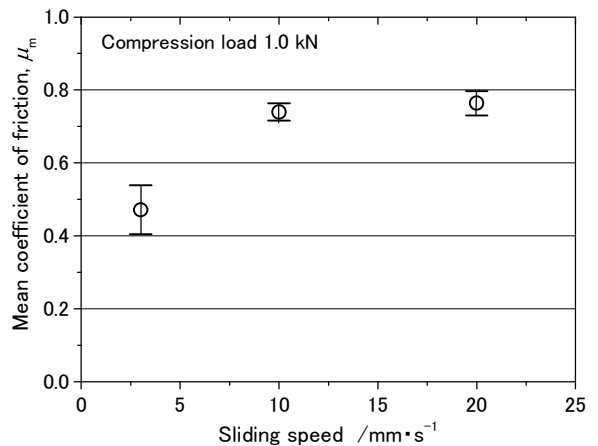


図 9 引抜き速度による摩擦係数の関係(2~27mm)

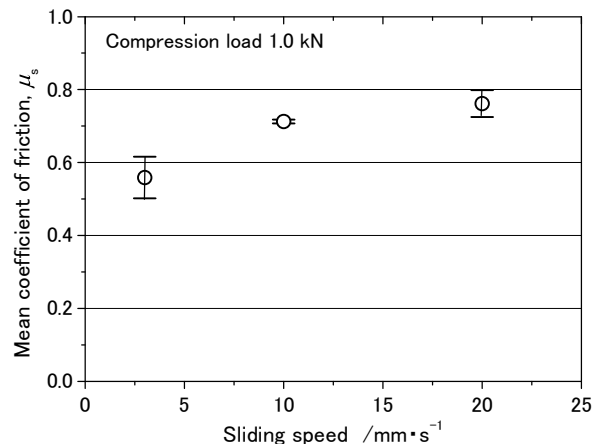


図 10 引抜き速度による摩擦係数の関係(0.2~1.2s)

(a) 10mm/s

(b) 3mm/s

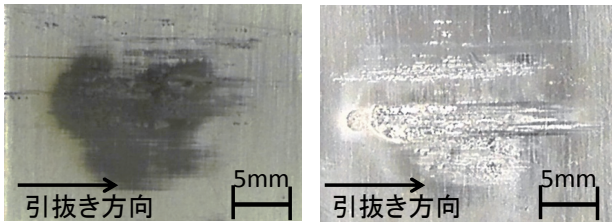


図 11 引抜き後の工具表面

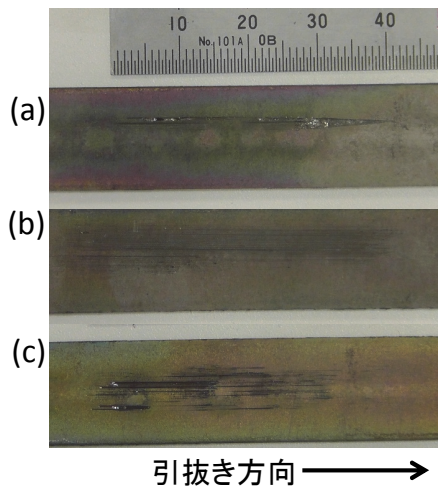


図 12 引抜き後の工具表面

引抜き速度 (a) 3mm/s, (b) 10mm/s, (c) 20mm/s

4.3 圧縮荷重と摩擦係数

図 13 に圧縮荷重の違いによる摩擦係数の変化を示す。摩擦係数は引抜き距離 2~26mm の摩擦係数の平均値である。この結果より圧縮荷重による摩擦係数の変化は少ないことが分かる。

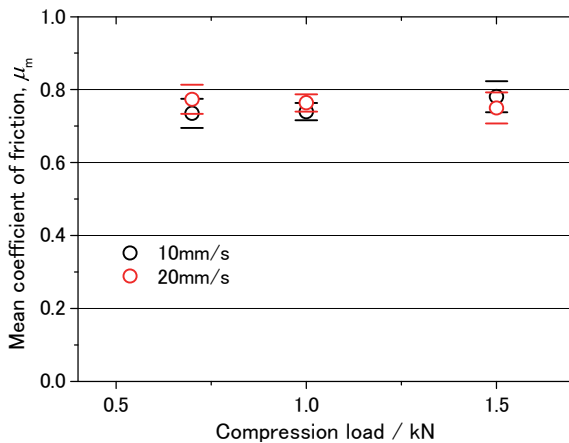


図 13 圧縮荷重と摩擦係数の関係

4.4 試験片幅の影響

測定された摩擦係数は過去に著者ら^{1,2)}が異なる装置および試験片寸法(幅 20mm, 板厚 2.0mm)で測定した引抜き速度 10mm/s, で同程度の圧縮圧力の場合と比べて高い

結果となった。工具の引抜き方向長さや試験片の幅が 4:3 過去の 1:1 に比べて小さいことが起因していると考えられたため板幅 20mm での試験を行った。図 14 に面圧を約 2.3MPa に揃えた時の引抜き距離と摩擦係数の関係を示す。図 14 より板幅を広くし、工具の平行部長さと同程度にすることで摩擦係数低下している。引抜き後のアルミめっきの工具への凝着幅が 15mm と 20mm で大きな違いがなかったことから、板幅が狭いと凝着の影響が大きく表われ摩擦係数が高くなると考えられる。

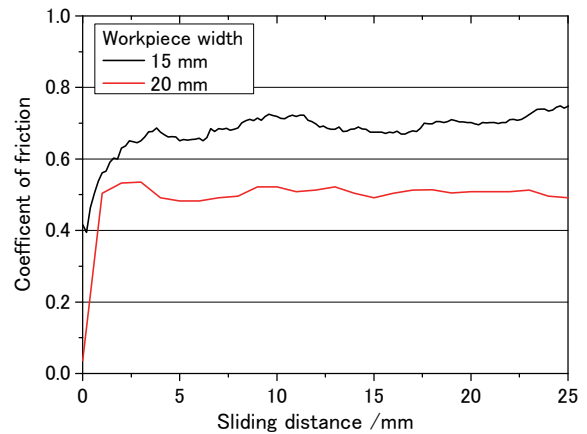


図 14 摩擦係数と引抜き距離

5. まとめ

ホットスタンピングにおける潤滑特性を評価するために通電加熱を用いた熱間平板摺動装置を開発した。加熱装置は加熱後、すみやかに試験片を移動させることが可能な機構とし、熱間摩擦係数を種々の温度履歴・加工条件で実施することが可能である。本装置を用いて、引抜き速度、圧縮荷重が摩擦係数に及ぼす影響を調査した。引抜き速度が遅いと摩擦係数が低下し、狭い範囲ではあるが、圧縮荷重による摩擦係数の変化が小さいという結果が得られた。

謝辞

本研究は、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成(AF-2012022)により行われました。新規に装置を開発することが出来たことに対してここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Yanagida, A. and Azushima, A., Annals of the CIRP, 58-1(2009), 247-250.
- 2) A. Azushima at al., J Mater. Proc. Technol. 212 (2012) 1014-1021.
- 3) Asano, Y., Nishi, T. and J. Yanagimoto, ISIJ. Int., 42-10 (2002), 1112-1118.