

# ホットプレスにおける潤滑特性の研究

横浜国立大学 工学研究院 システムの創生部門  
特別研究教員 柳田 明  
(現:東京電機大学 工学部 機械工学科 准教授)  
(平成 20 年度 一般研究開発助成 AF 2008022)

キーワード: ホットプレス, 摩擦係数, 潤滑

## 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, あるいはホットプレスと呼ばれる成形法が実用化されている. この成形法では鋼板が 900°C 前後のオーステナイト域の温度に加熱され, 完全なオーステナイト条件下で金型に移動後, 冷却された金型で成形し, 金型内での冷却にてマルテンサイト変態による高強度化が行われる<sup>1)</sup>. ホットスタンピングの最適化には, 多くのプロセスパラメータが必要とされ, 鋼板の成形性<sup>2)</sup>, 温度に対する機械的特性<sup>3,4)</sup>などの研究が行なわれている. しかし, 工具の摩耗や焼付きなどの問題から潤滑特性の研究が必要とされているにも関わらず, 世界的にもホットスタンピングのトライボロジー的な視点から見た研究は行なわれていない. これには幾つかの理由があるが, 主な理由は潤滑性を評価する方法が確立されておらず, ホットスタンピングにおける適切な潤滑性評価試験機が存在しないからだと考えられる. そこで著者らは, 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<sup>5,6)</sup>.

ホットスタンピングでは加熱による酸化を抑制するため, アルミや亜鉛めっきを施した素材を用いる場合とコーティングなしの素材を用いる場合があるが, どちらの条件においてもホットスタンピングにおける高温での金型および材料界面の潤滑挙動を検討した報告例は少ない. 本報告では, 未コーティングの 22MnB5 鋼のスケール厚さおよび, 金型の表面粗さ, 金型温度が摩擦係数に及ぼす影響をドライ・潤滑条件下で測定し, 高温での潤滑挙動を検討した結果を報告する.

## 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概要を図 1 に示す. この試験機は油圧アクチュエータ, 加熱炉, 張力装置から構成される. この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荷される押付け荷重の最大値は 200kN である. 加熱炉としては, 加熱部長さ 960mm の赤外線イメージ加熱炉を使用し, 加熱温度は, デジタル調節計によって制御され, 1100°C まで設定す

ることができる. 炉内には雰囲気ガスとしてアルゴンガスを導入し, 加熱された試験片の酸化を制御させることができる. 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 20kN 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.

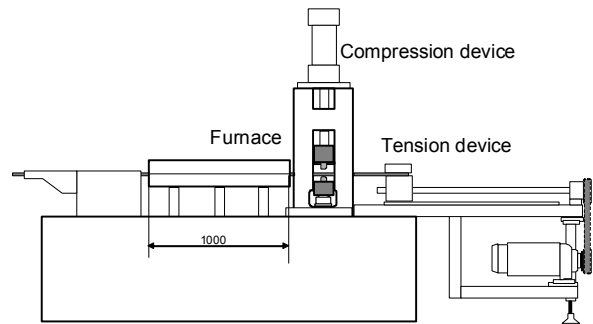


図 1 試験装置概観

表 1 試験機特性

Compression load $P$	Max・200kN
Tension load $T_F$	Max・20kN
Tension speed $V$	Max・30mm/s
Temperature $T$	Max・1100°C

### 2.2 金型

金型はベース(S50C)とダイ(SKD61)を 2 分割できる形式とした. 引抜き部の長さは 20mm とし, コーナー R は 5mm とした. 金型の冷却の効果を調査するために, ベースおよび, ダイに冷却溝を有するものを作成した. その図面を図 2 に示す. チラーにより 15°C の冷却水を循環させることによりダイを冷却する. また, 通常の試験には, 冷却溝が無いベース及びダイを用いて試験をおこなう.

### 2.3 実験方法

試験材料を張力装置にセットし, アルゴン雰囲気制御した赤外線瞬間加熱炉により試験材料を加熱する. 加熱炉温度  $T$  で試験片温度が均一になるまで保持して, 試験材料を一定速度  $V$  で移動させる. 温度均一部が金型を通過した後, 圧縮荷重  $P$  がかるように設定する.

摩擦係数は圧縮荷重  $P$  と引張り荷重  $T_F$  より算出され, 次式で示される.

$$\mu = \frac{T_F}{2P} \quad (1)$$

### 2.4 試験材料の温度特性

試験材料に 22MnB5(0.22%C, 1.2%Mn, 0.002%B)鋼板

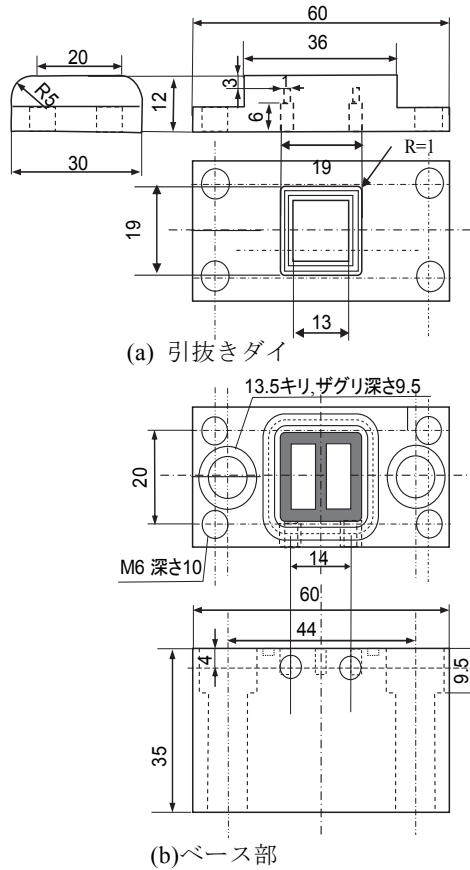


図2 冷却金型の図面

を用いた。試験片サイズは幅 22mm、厚さ 2.3mm、長さ 2000mm とした。試験材料を加熱炉内で加熱し材料温度が一定温度になった後に実験を行う必要があるため、加熱炉内での試験片の温度特性を調べた。加熱炉温度  $T$  を  $720^\circ\text{C}$  と設定し、1 分間で目標温度に到達させ、その温度を維持するように制御した場合の試験片の温度変化を測定した。また、実際に金型に入り引抜かれる時の温度を調べるために、試験片が一定温度に到達後、速度  $10\text{mm/s}$  で金型へ移動させた場合の試験片温度と移動距離の関係も測定する。なお、試験片の測定点は加熱炉出口から 150, 300, 470mm の 3 点で、それぞれの点に K 熱電対をスポット溶接させて試験材料の温度変化を測定した。それぞれの測定結果を図 3 に示す。図 3a より、加熱開始から 200s 後には加熱炉内の 3 点で温度が均一になることがわかる。また図 3b より、試験材料が金型へ移動する間に温度が下がり、引抜き時の温度は加熱炉温度  $T$  前後になっている。

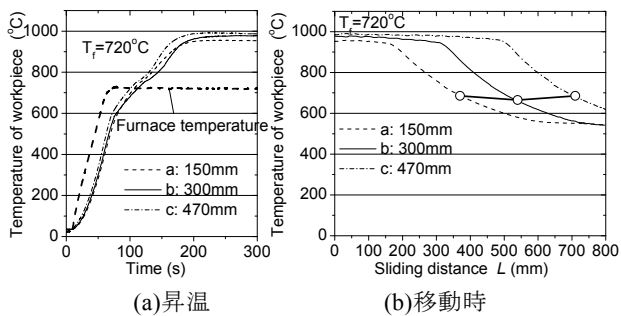


図3 加熱特性

### 3. 実験条件

本研究に用いた試験条件として、加熱炉の設定温度  $T_f$  は  $720^\circ\text{C}$  とし、引抜き速度  $10\text{mm/s}$  で、押付け荷重を  $3.5\text{kN}$  として引抜きを行った

a)スケール厚さ 炉内のアルゴンの流量をおよび、保持時間を 120 - 240s で変化させることでスケール厚さを 10, 30, 50,  $80\mu\text{m}$  に調整した。加熱条件とスケール厚さ、表面粗さの一覧を表 2 に示す。

表2 加熱条件とスケール厚さ

Arガス圧 /MPa	0.2	0.1	
総加熱時間 /s	240	240	360
スケール厚さ / $\mu\text{m}$	10	30	80
表面粗さ, Ra / $\mu\text{m}$	0.99	1.36	1.62

b)工具表面粗さ エメリー紙を用いて、引抜き方向に垂直に研磨した。工具粗さは  $Ra = 0.07, 0.2, 0.5\mu\text{m}$  に調整した。工具表面プロフィールを図 4 に示す。

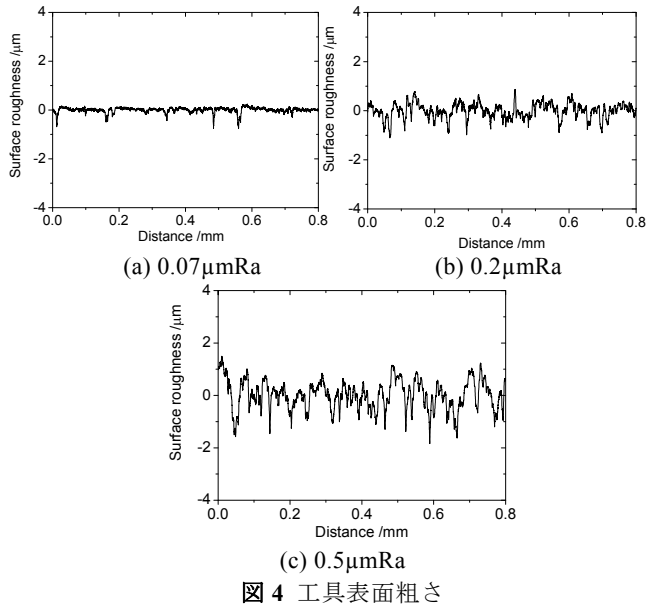


図4 工具表面粗さ

c)潤滑方法 試験は、ドライおよび潤滑条件下で行った。潤滑剤は熱間鍛造用白色系潤滑剤を用いた。工具を  $150^\circ\text{C}$  に加熱し、20%に希釈した潤滑剤を吹き付けることで、工具表面に付着させた。

d)金型温度 スケール厚さ  $30\mu\text{m}$ 、工具表面粗さ 0.07,  $0.2\mu\text{mRa}$  の条件において、冷却溝を有する金型を用いて試験を行った。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 ドライ条件での摩擦係数

図 5 に  $0.2\mu\text{mRa}$  の表面粗さをもつ工具を用いてドライ条件でスケール厚さ  $30\mu\text{m}$  の試験片を引抜きしたときの摩擦係数と引抜き距離の関係を示す。この図から引抜き距離が 15mm を越えると摩擦係数はほぼ一定であることがわかる。他の表面粗さの工具の場合もこの

図と同様に摩擦係数は引抜き距離 20mm を越えるとほぼ一定であった。この結果から摩擦係数の測定値は式 (2) に示すように、引抜き距離 20mm から 40mm の平均値とし、平均摩擦係数値と定義することにした。

$$\mu_m = \frac{1}{L_2 - L_1} \int_{L_1}^{L_2} \mu dL \quad (2)$$

ここでは、 $L_1=20\text{mm}$ 、 $L_2=40\text{mm}$  である。

図 6 に各工具表面粗さにおける摩擦係数とスケール厚さの関係を示す。工具表面粗さが  $0.2\mu\text{m}$  および  $0.5\mu\text{m}$  のときは、摩擦係数がスケール厚さに影響を受けずにほぼ一定であることを示している。つづいて、工具表面粗さが  $0.07\mu\text{mRa}$  のときはスケール厚さが  $50\mu\text{m}$  以下においてスケール厚さが薄くなるにつれて摩擦係数は増加している。

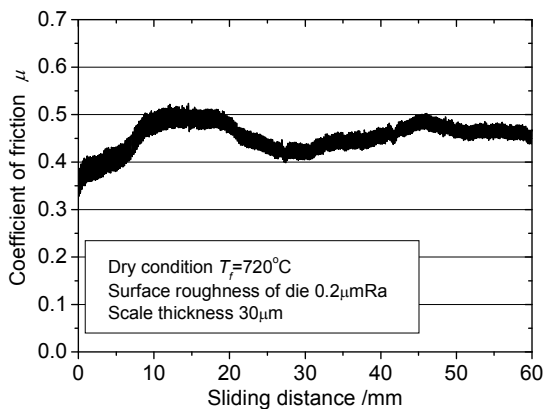


図 5 摩擦係数と引抜き距離の関係

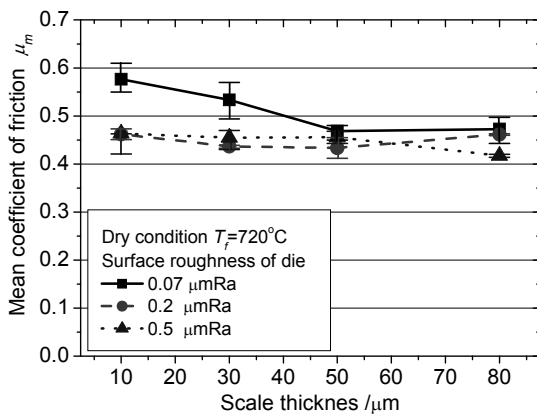


図 6 各表面粗さでのスケール厚さと摩擦係数の関係

図 7 に工具粗さ  $0.07$ 、 $0.5\mu\text{mRa}$  でスケール厚さ  $10$ 、 $50\mu\text{m}$  の試験条件での引抜き後の試験片表面写真を示す。図 7 より工具粗さ  $0.07\mu\text{mRa}$  でスケールが薄いときに摩擦係数が増加するのは、深いスクラッチ痕に起因していることが分かる。

#### 4.2 潤滑条件下での摩擦係数

図 8 に  $0.2\mu\text{m}$  の表面粗さをもつ工具を用いて潤滑条件下でスケール厚さ  $30\mu\text{m}$  の試験片を引抜きいたときの摩擦係数と引抜き距離の関係を示す。この図から引抜き距離が  $15\text{mm}$  を越えるとドライ条件と同様に摩擦係数はほぼ一定であることがわかる。図 9 に各工具表面

粗さにおける摩擦係数とスケール厚さの関係を示す。

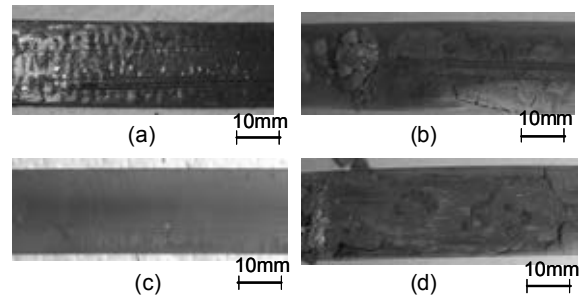


図 7 引抜き後の表面写真  
工具表面粗さ (a), (b)  $0.07$ , (c), (d)  $0.5\mu\text{mRa}$   
スケール厚さ: (a), (c)  $10\mu\text{m}$ , (b), (d)  $50\mu\text{m}$

工具表面粗さが  $0.2\mu\text{mRa}$  および  $0.5\mu\text{mRa}$  のときは、スケール厚さが  $50\mu\text{m}$  までは摩擦係数がスケール厚さに影響を受けずにほぼ一定であり、スケール厚さが  $80\mu\text{m}$  になると摩擦係数が大きくなることを示している。一方、工具表面粗さ  $0.07\mu\text{mRa}$  のときはスケール厚さが  $10\mu\text{m}$  のとき摩擦係数が小さくなることを示している。図 10 に工具表面粗さ  $0.5\mu\text{mRa}$  でスケール厚さ  $10$ 、 $30$ 、 $50$ 、 $80\mu\text{m}$  での試験片表面写真を示す。図 10 から工具と試験片の真実接触面積はスケールが厚くなるほど減少していることが分かる。真実接触面積の減少は接触圧力の増加を引き起こし、潤滑領域および潤滑膜の厚みを減少させ、結果として摩擦係数はスケール厚さの増加に伴い増加する。

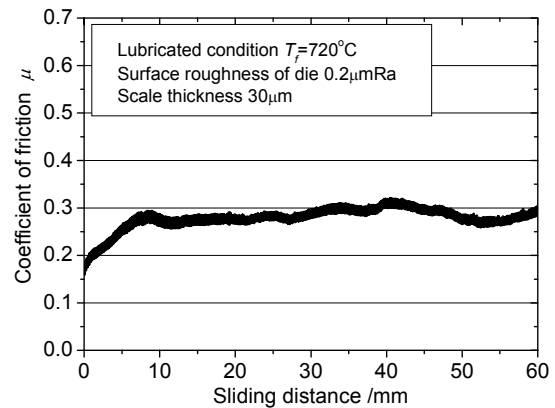


図 8 摩擦係数と引抜き距離の関係

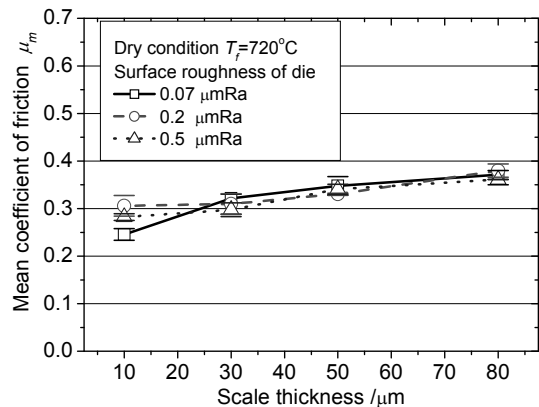


図 9 各表面粗さでのスケール厚さと摩擦係数の関係

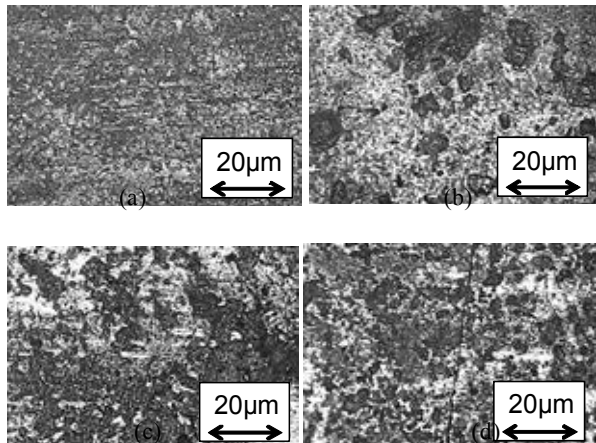


図 10 引抜き後の表面性状(工具表面粗さ  $0.5\mu\text{mRa}$ ) スケール厚さ(a) 10, (b) 30, (c) 50, (d)  $80\mu\text{m}$

#### 4.3 冷却工具

ドライ条件で工具表面粗さ  $0.2\mu\text{m}$  で工具を冷却した場合のスケール厚さ  $30\mu\text{m}$  の試験片を引抜いたときの摩擦係数と引抜き距離の関係を図 11 に、冷却無しの場合とあわせて示す。冷却をした方が引抜き開始時の摩擦係数が低く、 $20\text{mm}$  以降の摩擦係数も低いことが分かる。接触面での温度上昇により摩擦係数が上昇すると考えられる。冷却の有無による平均摩擦係数の比較図 12 に示す。図 12 から工具表面粗さが  $0.07\mu\text{mRa}$  の場合、冷却があっても焼き付きが生じるため、冷却が無い場合との差が小さい。

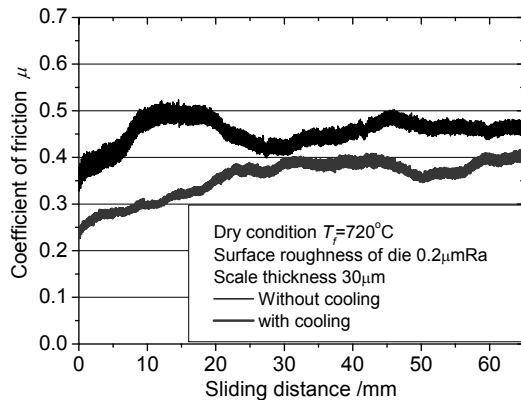


図 11 摩擦係数と引抜き距離の関係 (金型冷却の比較)

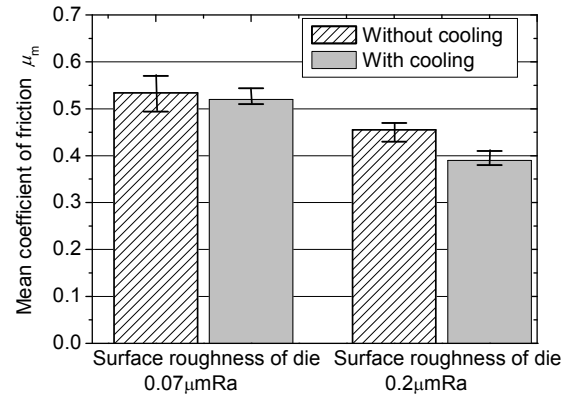


図 12 金型冷却の有無による摩擦係数の比較

#### 5. まとめ

種々の工具表面粗さ、スケール厚さにおいて、熱間平板引抜によるホットスタンピングの潤滑特性評価を行い以下の結果を得た。

- 1) ドライ条件下では、表面粗さが  $0.07\mu\text{mRa}$  の場合スケール厚さが薄くなるにつれて摩擦係数が上昇した。
- 2) 摩擦係数は潤滑剤を用いることで大幅に低減できる。潤滑剤を用いた場合、工具表面粗さの影響は小さく、スケール厚さが厚くなるにつれて、摩擦係数は上昇した。
- 3) 実作業で行われている金型冷却は摩擦係数の低減においても効果的である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり研究助成をいただいた(財)天田金属加工機械技術振興財団に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 例えば, Karbasian, H. and Tekkaya, A.E., J. Mater. Proc. Technol. 210(2010), 2103-2118.
- 2) S. Sikora and F.J. Lenze, : Proc. IDDRG 2006, 295-301.
- 3) M. Merklein and J. Lechler, :J. Mater. Proc. Techn. 177(2006)452-455.
- 4) Y. Dahan et al.,: Proc. IDDRG2006, 395-402.
- 5) Yanagida, A., Kurihara, T. and Azushima, A. J. Mater. Proc. Technol. 210, (2010), 456-460.
- 6) Yanagida, A. and Azushima, A., Annals of the CIRP, 58-1(2009),247-250.