

# 熱間テーパプラグ通し試験における工具表面テクスチャの効果

塑学 \*郷 健太郎 (名工大・院)  
機正 西尾 悟 (兼房)

機塑正 北村 憲彦 (名工大院)  
機正 新美 達也 (兼房)

## 1. まえがき

自動車などでは軽量化が求められ、高強度材や軽量材の使用やマルチマテリアル化、高剛性な形状、最適強度のための複雑形状などが取り込まれている。そのために高強度・大型部品や難加工材の成形には熱間鍛造も利用されている。その重要な課題は型寿命の向上であり、そのために工程、潤滑、工具が検討されている。冷間打抜き<sup>1)</sup>や鍛造<sup>2)</sup>では工具表面テクスチャの潤滑効果が認められている。本報では熱間鍛造における工具表面テクスチャの効果について検討を始める。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験条件

潤滑性能評価には図1に示す試験片外周を拘束しない熱間テーパプラグ通し試験<sup>3)</sup>を用いる。

試験片はS45C製、高さ50 mm、外径50 mm、内径15.0 mmで、窒素雰囲気電気炉で1100°Cに加熱する。試験には2.5 MNナックルプレスを用い、初期押込み速度480 m・s<sup>-1</sup>、平均押込み速度は360 m・s<sup>-1</sup>である。

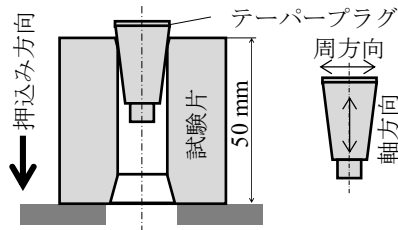
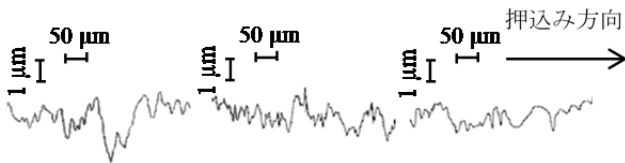


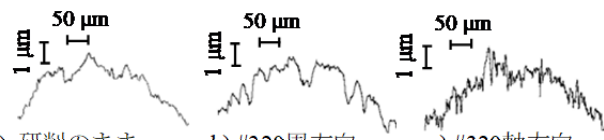
図1 熱間テーパプラグ通し試験

テーパプラグはSKH51 (焼入れ・焼戻し) 製、最大直径16.67 mm、ランド長さ2 mm、半角5°、仕上げは研削のまま以外に、エメリ紙研磨、ディンプル旋削も行う。

1) エメリ紙研磨 テーパプラグをエメリ紙(#320, #600)で、周方向または軸方向に擦る。図2にエメリ紙#320で擦る前後の表面プロファイル例を示す。図2aのプロファイルは軸方向に測定したプロファイルが図2aで、周方向に測定したものが図2bである。擦る前の粗さに1 μm以下の細かい粗さが追加されている。



a) 研削のまま b) #320周方向 c) #320軸方向  
図2a テーパプラグの粗さ曲線 (軸方向に測定)



a) 研削のまま b) #320周方向 c) #320軸方向  
図2b テーパプラグの粗さ曲線(周方向に測定)

擦る方向に対して直角方向に粗さは、初期の $R_a$ より大きい。併せて、試験前にこれらを200°Cに予熱し、黒鉛系潤滑剤を塗布する。

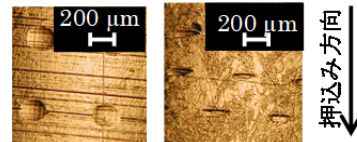
表1 エメリ紙研磨テーパプラグの粗さと潤滑塗布量

研削後の研磨 粒度と方向	表面粗さ $R_a$ / $\mu\text{m}$		黒鉛系潤滑剤 塗布量 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
	軸方向	周方向	
研削のまま	0.23	0.13	22
#320周方向	0.38	0.18	27
#320軸方向	0.23	0.31	26
#600周方向	0.24	0.20	25
#600軸方向	0.30	0.19	25

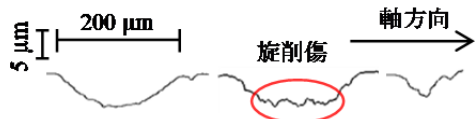
2) ディンプル旋削 研削仕上げしたテーパプラグの表面に、図3に示すような円形および紡錘形のディンプルを周方向に回転する工具で旋削する。円形ディンプルの一部と紡錘形ディンプルについては、さらにラップして旋削痕を除去する。

円形ディンプルは深さ10 μm、直径200 μmで、中心間600 μmである。紡錘形ディンプルの長軸200 μmが周方向、短軸50 μmが軸方向、深さ5 μmで、間隔は周方向300 μm、軸方向250 μmである。

各ディンプルの軸方向プロファイルを図4に示す。円形ディンプル底の軸方向表面粗さは、旋削のままの時には0.73 μm  $R_a$ であり、ラップで旋削痕除去後には0.22 μm  $R_a$ となる。試験前に、これらを200°Cに加熱し、黒鉛系潤滑剤を18~23  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  塗布する。



a) 円形 b) 紡錘形  
図3 切削した円形ディンプルと紡錘形ディンプル



a) 円形, 旋削傷除去 b) 円形, 旋削のまま c) 紡錘形

図4 旋削したディンプルの軸方向プロファイル

## 3. 試験結果

### 3.1 エメリ紙研磨したテーパプラグを用いた場合

エメリ紙#320で研磨したテーパプラグを用いた時の試験中の荷重-ストローク線図を図5に示す。周方向にエメリ紙で研磨したテーパプラグを用いた場合には、ランド部まで押し込まれた後の荷重は定常的で、ストローク45 mmで最大20 kNを示す。これに対して、研削のまま、および軸方向にエメリ紙研磨したテーパプラグを用いた場合には、ストロークの増加に伴い荷重は増加している。研削のままのテーパプラグでは27 kN、軸方向エメリ紙研磨では30 kNを示している。

試験片の外周を拘束しないテーパプラグ通し試験では、テーパプラグと試験片との間の摩擦が大きい場合に荷重も大きくなること<sup>4)</sup>から、この周方向にエメリ紙で研磨したテーパプラグを用いれば、他の2種類のテーパプラグより、摩擦の増加が抑制されたとみられる。

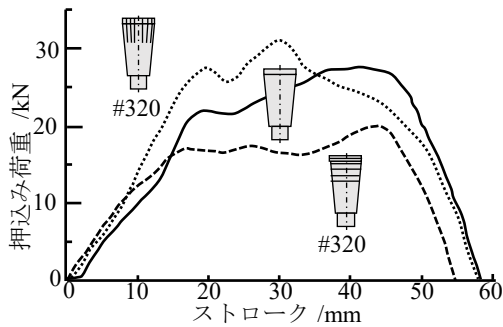


図5 エメリ紙#320で研磨したテーパプラグを用いたテーパプラグ通し試験における荷重-ストローク線図

次にエメリ紙#600で研磨したテーパプラグを用いた時の荷重-ストローク線図を図6に示す。ここでは、いずれもストロークの増加につれて荷重は増加し続け、ストローク約40 mmで最大荷重27 kN以上の大きな値を示している。図5で示されたような周方向#320エメリ紙研磨による摩擦は抑制されず、かえってエメリ紙#600研磨により摩擦が増加したとみられる。

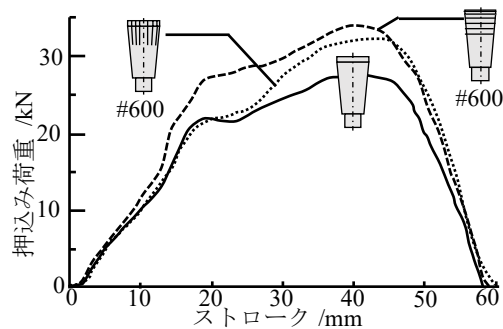


図6 エメリ紙#600研磨したテーパプラグを用いたテーパプラグ通し試験における荷重-ストローク線図

図7に試験後の代表的なテーパプラグ表面および軸方向表面プロファイルを示す。エメリ紙#320周方向研磨したテーパプラグを用いた場合には、焼付きはない。研削のままのテーパプラグを用いると厚み50 μm以上の焼付きが生じている。荷重が25 kNを越えた場合には、これと同様の焼付きが生じていた。



a) エメリ紙#320周方向研磨 b) 研削のままのテーパプラグ使用  
試験後のテーパプラグの表面

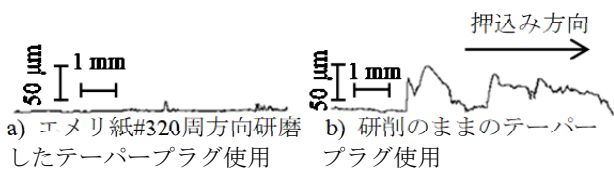


図7 試験後のテーパプラグの表面とプロファイル

試験後の試験片内面を観察したところ焼付きを生じた場合には、多数の深いむしれ傷が残っていた。これらは図5、図6の高い荷重のストローク位置、図7のテーパプラグ表面観察の結果と対応していた。

### 3.2 ディンプル旋削したテーパプラグを用いた場合

図8にディンプル旋削テーパプラグを用いた時の荷重-ストローク線図を示す。研削のままのテーパプラグを用いた場合より、周方向に長い紡錘形ディンプル旋削テーパプラグを用いた場合に荷重増加が抑制されている。さらに荷重増加を抑えられたのは、円形ディンプル旋削のままのテーパプラグを用いた場合である。

図9に試験後のテーパプラグ表面を示す。円形ディンプル旋削のままでは焼付きがなく、これ以外では焼付きが生じている。ストローク後半で高い荷重になったことと焼付きは対応している。

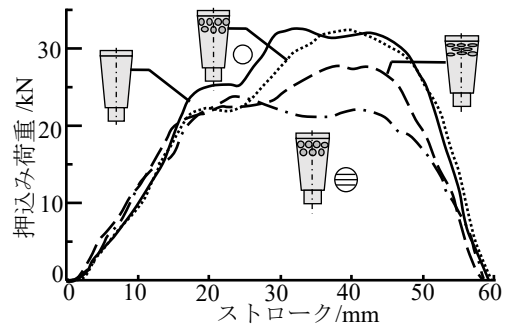


図8 ディンプル旋削テーパプラグを用いたテーパプラグ通し試験における荷重-ストローク線図



a) 円形、旋削 b) 円形旋削のまま c) 紡錘形旋削傷を除去

図9 試験後のディンプル旋削テーパプラグ表面

### 4. まとめ

黒鉛系潤滑剤を使用して、熱間テーパプラグ通し試験によって表面粗さやディンプルの潤滑効果を調べた。以下に結果をまとめる。

- 1) エメリ紙#320周方向研磨のテーパプラグを用いると焼付きは生じず、荷重（摩擦）の増加も抑制された。軸方向研磨では焼付きが著しく、荷重も増加した。
- 2) エメリ紙#600研磨は方向によらず、焼付きと荷重増加は抑制できなかった。
- 3) ディンプル旋削したテーパプラグを用いた場合には、円形ディンプル旋削のままが最も焼付き抑制と荷重（摩擦）増加を抑制でき、次いで周方向に長い紡錘形ディンプルであった。

今後、潤滑の塗布量や種類、表面粗さ大きさ、方向などの影響を整理して、熱間鍛造において工具表面テクスチャの潤滑への有効性について調べる予定である。

### 参考文献

- 1) K. Kitamura et al. CIRP Annals, 65 (2016), 249-252.
- 2) 松本良：第320回 塑性加工シンポジウム (2016), 17.
- 3) K.Asai et.al: Key Eng. Materials, 716 (2016), 147-156.
- 4) 鈴木翔惟：第69回塑加連講, (2018), 313-314.