

# 金属成形金型用機能性表面被覆処理に関する研究 (第3報)

表面改質  
佐藤丈士、細野幸太

## Effect of Physical Surface Treatment to Forming Properties for Press Molding Die (III)

Joji Sato and Kota Hosono

ものづくり産業では、製品の軽量化、材料使用量の削減、コスト低減に向けて、単位質量当たりの強度が大きい高張力鋼板の使用、成形性の悪い安価な材料への転換、被成形材をより厳しい条件で成形することによる薄肉化、切削加工の塑性加工への代替化などが行われている。しかし、これらの方法はプレス成形の厳しさを増し、焼付きなどの頻発を招いている。この発生防止のため潤滑油を使用しているが、対環境負荷低減から潤滑油使用量の削減、最終的には潤滑油を使用しないプレス成形法の確立が大きな課題となっている。

ここでは、冷間金型工具鋼製のプレス金型に電子ビームを照射した時の金型表面の変化が、オーステナイトステンレス鋼の成形に対する潤滑性能向上または焼付き発生回避の観点からどのような効果を発揮するのかについて実験を行った。その結果、電子ビームを照射した冷間金型工具鋼 SKD11 製のプレス金型では、オーステナイトステンレス鋼 SUS304 の深絞成形を行っても焼付きの発生が少ないことなどがわかった。

### 1. はじめに

金属板材を金型を用いて成形するプレス加工では、成形中、被成形材が金型表面と擦れることにより、微視的な尺度で被成形材が金型表面に付着する焼付き<sup>1)</sup>と呼ばれる現象が頻発に発生する。この焼付きは被成形品の表面に傷を生じる原因となり、製品価値を損ねるので避けなければならない。しかし根本的な対策はなく、従来どおり潤滑油を使用して回避しているが、対環境負荷低減から潤滑油使用量の削減、最終的には潤滑油を使用しないプレス成形法の確立が大きな課題となっている。

一方、近年電子ビームのものづくりへの利用範囲が拡大し、金型の製造における磨きの工程を電子ビーム照射により行う技術が開発<sup>2)</sup>され実際に利用されている。

ここでは、プレス用金型に電子ビームを照射することにより表面の特性を変え、焼付きの回避、無潤滑成形の実現または潤滑油使用量の削減につなげることができないかを検証することを目的に研究を行った。

### 2. 実験

#### 2.1 電子ビーム処理

使用した電子ビーム照射装置は、(株)ソディック製の EB300 である。本装置は真空中で微量のアルゴンをプラズマ化し、電子ビームを発生するものである。被処理物への照射はオンオフのパルスで、1パルス当たりの出力とパルス数(照射回数)で照射の効果を変えることができる。実験に用いた照射条件は、製造元の推奨条件を基にカソード電圧 15KV、ソレノイド電圧 0.7KV、アルゴン封入圧力 0.05Pa とした。次に述べるピンオンディスク試験片とプレス成形用金型(深絞金型のダイスのフランジ部から肩部にかけてとしわ押さえのフランジ部)に対し、照射回数を10回単位で変えて、電子ビーム処

理を行った。

#### 2.2 ピンオンディスク試験

使用した試験機は、J T トーシ(株)製の摩擦摩耗試験機 FPD1000/3000 である。ピンオンディスク試験法を図1に示す。ここではディスクを金型とみなしてロックウェル硬さ HRC58 の冷間金型用工具鋼 SKD11 で作製し、電子ビーム照射なしのもの、電子ビーム照射を10回および30回行ったものの3種類を用意した。ピンは被成形材とみなしてオーステナイトステンレス鋼 SUS304 で作製した。試験条件を表1に示す。試験に使用した潤滑剤は牛脂黒鉛で、試験開始前にピン端面に一定量を塗布した。なお、ここで用いた牛脂黒鉛は、質量

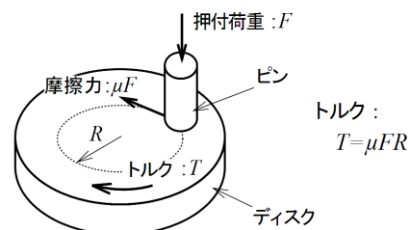


図1 ピンオンディスク試験法

表1 成形条件

項目	条件
回転速度 (cm/sec)	20
回転半径 (mm)	10
ピン押し荷重 (N) (1ステップ当たり増分)	10
負荷時間 (min) (1ステップ当たり)	1

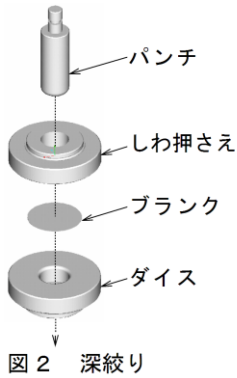


表 2 成形条件

項目	条件
パンチ直径 (mm)	15
パンチ速度 (mm/sec)	0.3
ダイス肩半径 (mm)	1
ブランク直径 (mm)	30
ブランク板厚 (mm)	0.5
しわ押さえ力 (KN)	4
潤滑剤	牛脂黒鉛

で牛脂 3 に対し黒鉛を 1 混ぜたものである。

ピンの押付荷重とディスクに作用するトルクの関係は、図 1 中に示す式のとおり比例関係となる。もしある段階でディスクとピント間に焼付きなどが生じると、摩擦状態が変化するためこの比例関係が崩れると考えられる。このことから金型と見なした電子ビーム照射ディスクと被成形材とみなしたピンの摩擦摩耗現象に関する相互関係を評価した。

### 2. 3 プレス成形

一對のダイスとしわ押さえに対し、電子ビーム照射を行わないものと照射を行ったものを用いて、オーステナイトステンレス鋼 SUS304 の成形実験を行った。成形方法は深絞りでありその構成を図 2 に示す。ダイス肩半径については、通常ブランク板厚の 8 倍から 10 倍とするが、ここでは金型に現れる成形の影響を加速調査するために板厚の 2 倍にあたる 1mm とした。板厚に対してダイス肩半径を小さくして成形を行う方法<sup>3)</sup>は、特にストレッチドロウ成形<sup>4)</sup>といわれる方法で深絞りの範疇に含まれる成形方法である。

成形条件を表 1 に示す。金型はロックウェル硬さ HRC62 の冷間金型用工具鋼 SKD11 製である。潤滑剤の牛脂黒鉛は、実験目的に応じて金型またはブランクのどちらかに塗布した。

### 2. 4 表面粗さの測定

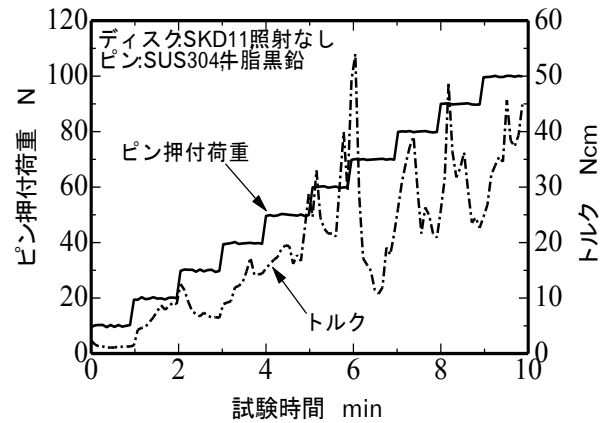
表面粗さの測定には、Zygo 社製の光波干渉式 3 次元表面構造解析顕微鏡 New View 200 を使用した。10 倍の対物レンズを用いさらにズーム 1.5 倍を適用して、金型表面のおよそ 0.42mm×0.32mm の範囲を測定した。なお、この測定機の垂直分解能は 0.1nm である。

## 3. 結果及び考察

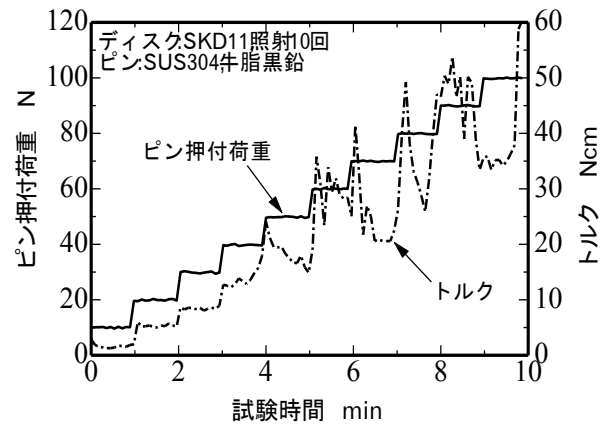
### 3. 1 ピンオンディスク試験

ピンの押付荷重を段階状に変化させた時の、トルクとの関係を図 3 に示す。図は横軸が時間で、押付荷重に追従するトルクの変化が階段状変化から崩れるまでの時間から、金型とみなしたディスクと被成形材とみなしたピンの摩擦に関する相性を判断することができる。

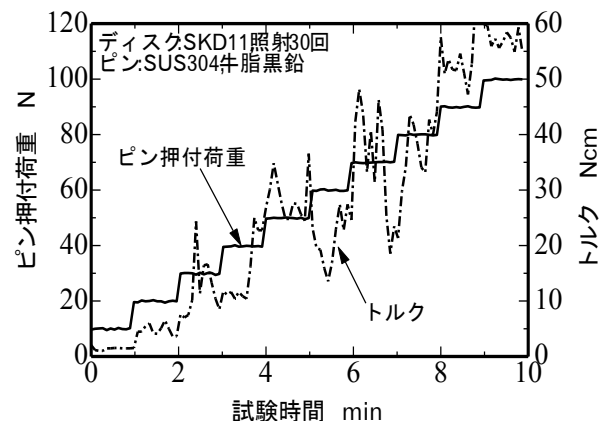
図 3 (a) に示す電子ビーム照射なしの場合、押付荷



(a) 電子ビーム照射なし



(b) 電子ビーム照射 (10回)



(c) 電子ビーム照射 (30回)

図 3 ピンオンディスク試験結果

重が 20KN になると同時に、トルクの追従変化は階段状ではなくなり、摩擦摩耗現象が定常である時間は 1 分間程度であることがわかる。図 3 (b) に示す電子ビーム照射 10 回の場合、押付荷重が 40KN になってしばらく

経つまではトルクの階段変化が維持され、その時間は 3 分 30 秒である。電子ビーム照射によるディスク表面の変化が、定常的な摩擦摩耗現象の維持に役立っていることがわかる。図 3 (c) に示す電子ビーム照射 30 回の場合、前述の電子ビーム照射なしの場合と同様に、押付荷重が 20KN になると、トルクの段階変化に乱れが生じている。以上のことから、ピンの押付荷重とディスクへの電子ビーム照射回数の間には、潤滑剤である牛脂黒鉛の作用を介して、摩擦摩耗状態に関する相互依存性があることがわかり、ここでの実験範囲では焼付きなどの回避効果が期待できる電子ビーム照射回数は 10 回であることがわかった。

### 3. 2 深絞り成形における潤滑油保持効果

電子ビームを 10 回照射した深絞り金型を用い、しわ押さえフランジ面とダイスのフランジ面から肩部にかけて最初だけ牛脂黒鉛を薄く均一に塗布し、以後は塗布なしとし、この状態で何回まで成形が可能か確かめた。結果は、3 回目の成形で  $\alpha$  破断 (ダイス肩部で破断) を起こし、深絞りにおいてはピンオンディスク試験からの結果を反映するような電子ビーム照射面の潤滑油保持効果は期待できないことがわかった。

### 3. 3 金型表面の成形に伴うトポグラフィ変化

牛脂黒鉛をブランク両面の直径 18mm から外縁の間に薄く均一に塗布し、オーステナイトステンレス鋼 SUS304 を 50 回成形した。

図 4 の研削面の場合について見てみる。(a) の成形未使用のしわ押さえフランジ面では、凸が山脈状に凹が V 字谷状に幾筋も走り、比較的規則的な表面形状になっている。(b) の 50 回の成形後のしわ押さえフランジ面では、山脈状の凸部が潰れ、V 字谷状の凹部が埋まるような形状変化が観察できる。このような変化は、被成形材が金型に移行して強硬に付着する現象である焼付きが生じたことによると考えられる。(c) の 50 回の成形後のダイス肩部では、焼付きは認められるが (b) 程ではない。研削面の場合を総括すれば、焼付きの発生はしわ押さえフランジ面で激しく、ダイス肩部では少ないということがわかる。

図 5 の電子ビームを 10 回照射した場合について見てみる。(a) の成形未使用のしわ押さえフランジ面では、研削による山脈状と V 字谷状の凹凸が消滅し、比較的なだらかな丘陵状の面になっていることがわかる。(b) の 50 回の成形後のしわ押さえフランジ面では、丘陵部に微小な凸形状が観察でき、焼付きは生じているが、次に示す (c) 程ではない。(c) の 50 回の成形後のダイス肩部では、測定範囲のほぼ全面で微小な凸形状が認められ、焼付きが激しいことがわかる。電子ビーム 10 回照射の場合をまとめると、焼付きの発生はしわ押さえフランジ面では少なく、ダイス肩部では激しいことがわかる。これは図 4 の場合に対し、全く逆の傾向である。

焼付きは成形品の側壁に傷を生じる直接的原因になる

ので特に避けなければならない。電子ビームの照射を行わない金型では、図 4 (c) に示したようにダイス肩部での焼付き発生が少ない。また、電子ビームの照射を行った金型では、図 5 (b) に示したようにしわ押さえフランジ部での焼付き発生が少ない。従って一対のダイスとしわ押さえに対し、フランジ部には照射を行い、ダイス肩部には照射を行わない金型を作製すれば、フランジ部とダイス肩部のどちらでも焼付きの発生が抑制される金型になるはずである。

この考えに従って電子ビームを照射した深絞り金型を作製し、オーステナイトステンレス鋼 SUS304 の成形を行った。そして、一対のダイスとしわ押さえに対し、照射

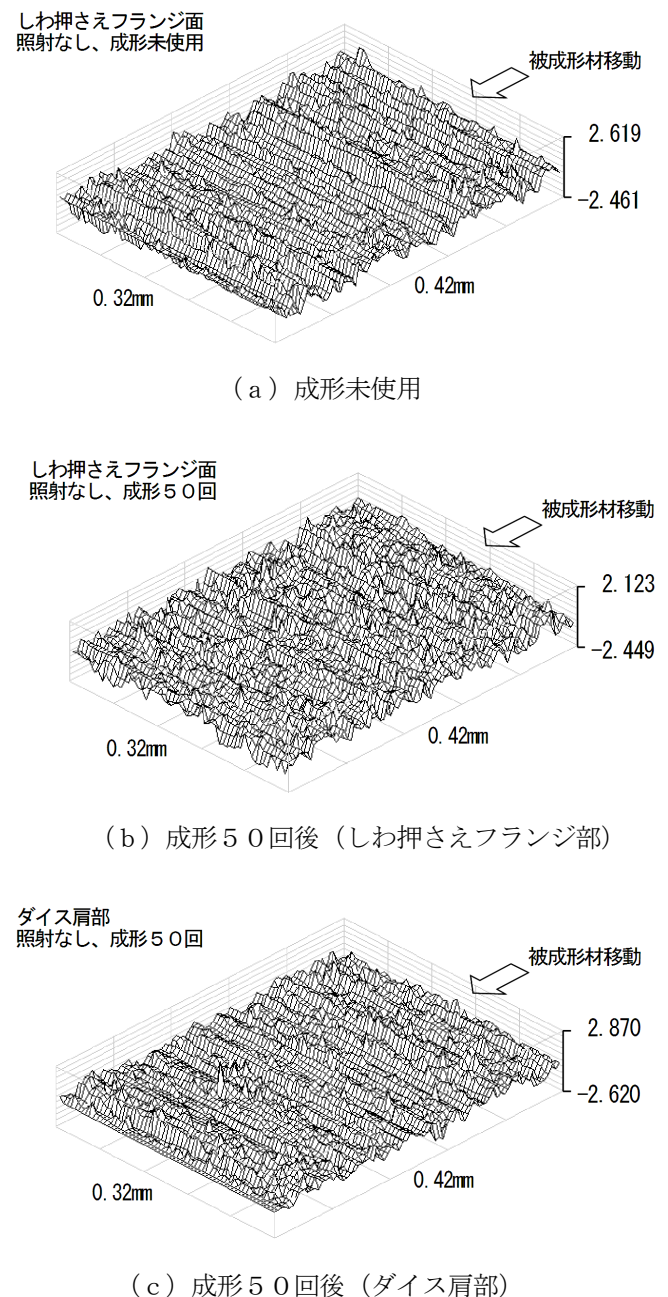
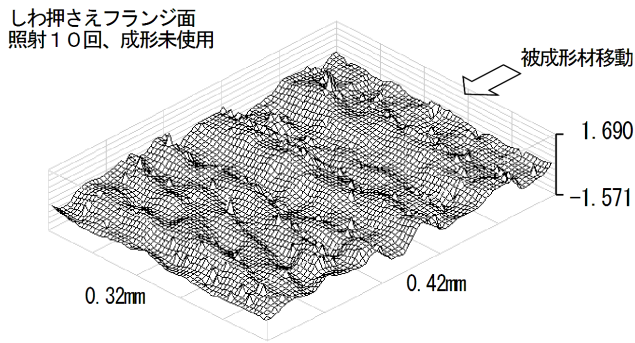
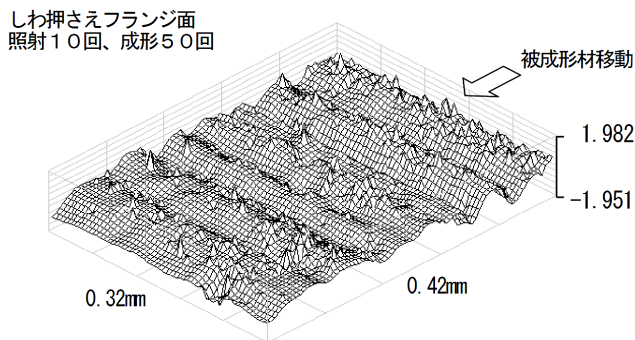


図 4 研削面の成形に伴う表面微細構造の変化

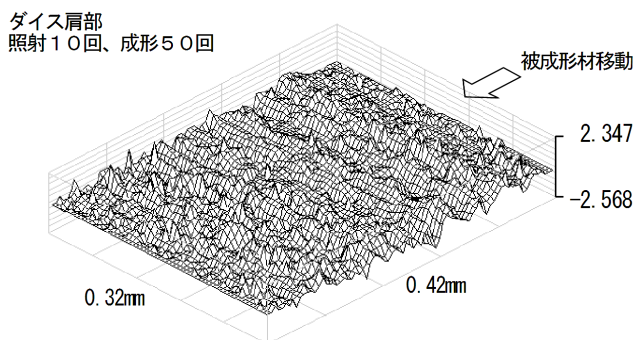




(a) 成形未使用



(b) 成形50回後（しわ押さえフランジ部）



(c) 成形50回後（ダイス肩部）

図5 電子ビーム10回照射面の成形に伴う表面微細構造の変化

を行っていない金型、フランジ部とダイス肩部に照射を行った金型、ここで考えたフランジ部のみに照射を行いダイス肩部には照射を行わない金型の3つで、成形50回目の成形品について側壁の円周方向表面粗さの比較を行った。結果を図6に示す。

照射を行っていない金型による成形品の粗さに対し、フランジ部とダイス肩部に照射を行った金型による成形品では側壁の表面粗さが大きくなっていることがわかる。フランジ部のみに照射を行った金型による成形品では、表面粗さは照射を行っていない金型による成形品とほぼ同じ数値となっており、ダイス肩部に照射を行わないほ

うが、成形品側壁の傷を少なくできることが確認できた。

加えて、フランジ部のみに照射を行った金型の50回成形使用後のしわ押さえフランジ部の3次元トポグラフィは、図5(b)と同様に金型表面上での焼付きの発生が少ないことが確認できた。

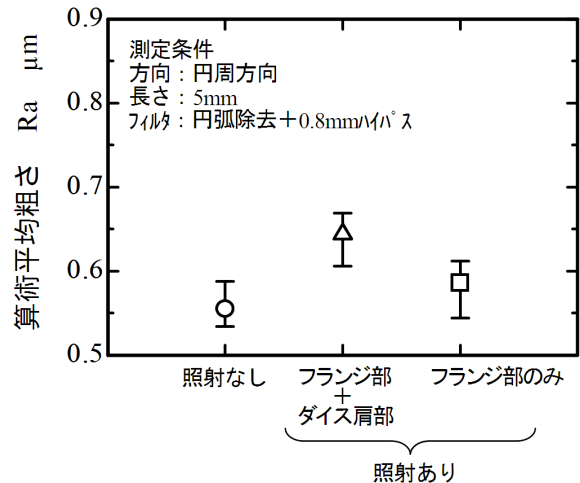


図6 成形品側壁の表面粗さの比較 (成形50回目)

#### 4. まとめ

冷間金型用工具鋼 SKD11 製の深絞り金型への電子ビームを照射は、焼付きの発生に対しフランジ部では抑制効果がある。しかしダイス肩部では、その効果が期待できず、むしろ焼付きが促進される。ダイス肩部での焼付きは照射を行わない場合が少ない。従って、フランジ部には照射を行うが、ダイス肩部には照射を行わない金型は、フランジ部とダイス肩部のどちらでも焼付きの発生が抑制される金型になることを確認できた。

#### 【参考文献】

- 1) 吉川ら, 塑性と加工, Vol.25, No.285, pp942-947, 1984.
- 2) 岡田ら, 精密工学会誌論文集, Vol. 71, No.11, pp1399-1403, 2005.
- 3) 今津ら, 機械学会論文集 C 偏, Vol.62, No.600, pp380-385, 1996.
- 4) 後藤ら, 機械学会論文集 C 偏, Vol.65, No.638, pp4216-4223, 1999.

#### Abstract

For the purpose of preventing the seizure which occurs on die shoulder and flange by applied load in sheet metal forming process, the electron beam irradiation is attempted to modify the surface structure of die. The following conclusions are obtained. The electron beam irradiation for dies made of SKD11 causes a reduction of the seizure on die shoulder in case where an austenitic stainless steel SUS304 is formed, provided graphite in tallow is spread as lubricant.