

高張力鋼板のプレス加工における焼付き判断基準の開発

岐阜大学 工学部

助教 吉川泰晴

(平成 22 年度奨励研究助成 AF-2010032)

キーワード：高張力鋼板，焼付き，角筒絞り

1. 研究の目的と背景

近年，自動車業界では地球環境保護の観点から，地球温暖化対策としての CO₂ 排出量削減を図るために，エンジン効率の改善，動力伝達の効率化，車両重量の低減など，さまざまな取り組みがなされている．一方，衝突安全性，走行安定性の確保の観点からは，車体剛性の向上に対する取り組みがなされている．車両重量の低減と車体剛性の向上という相反する要求を満足するため，高張力鋼板に代表される高強度鋼板の適用が推進されている．しかし，高張力鋼板の成形には高い成形力が必要となることから，金型と材料の接触圧力が高くなる．したがって，潤滑剤が接触界面に介在しにくくなり，焼付きやかじりが生じやすくなる．この焼付きやかじりは製品表面品位の低下を招く．そのため，焼付き現象に関連した研究が行われている^{1)~4)}．

本研究はプレス加工における焼付き発生機構・条件を明らかにし，焼付きを抑制するための金型設計基準を作り出すことを目標としている．本報では，角筒絞り型の摩擦試験を行い，有限要素解析を用いて焼付き発生位置における力学的状況を調査する．

2. 実験方法

本研究では，高張力鋼板を例とした角筒絞り型の摩擦試験用金型を使用した．角筒絞り型摩擦試験では，ダイ形状やしわ押え圧力などの成形条件の影響を調査できる．**図 1** に角筒絞り型摩擦試験の原理図を示す．供試圧延板をブランクホルダー上面に載せ，ブランクホルダーによるしわ押え圧力を加えながらダイを降下させて供試圧延板に絞り加工を施すものである．

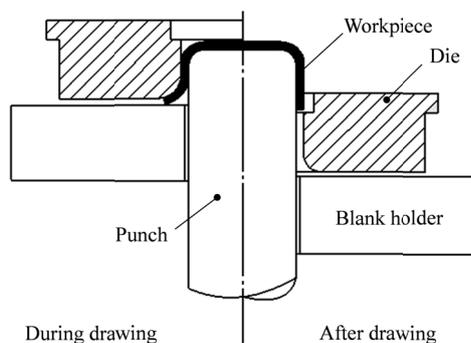


図 1 角筒絞り試験の金型構成概略図

表 1 に実験条件を示す．実験にはコマツ産機製サーボプレス H1F110 を用いた．ダイは SKD11 に焼入れ焼戻しを行い，対辺 35 mm，R7.6 の貫通穴を設け，ダイ肩 R は R5 とした．また，表面を粗さ $Ra = 0.04 \mu\text{m}$ 程度に仕上げた．ダイ高さ L を 10，15，20 mm の 3 種類とした．パンチは SKD11 材を使用し，対辺 30 mm，R5 とし，パンチ肩 R を R5 とした．供試圧延材には，高張力鋼板 SPFC590 を用い，板厚 $t = 2.6 \text{ mm}$ ，54 mm 角の正方形の隅を丸めた形状とした．焼付きの発生を促進するために，パンチとダイとのクリアランスを 2.5 mm とし，公称約 4 % の同時しごき加工を伴う絞り加工とした．供試材には，潤滑油はパラフィン系鉱油 P460 を用い，加工前にブランク表面に刷毛塗りした．しわ押え圧力を 0 MPa，6 MPa の 2 種類とした．

焼付きの生成，成長過程を調査するために，加工回数による金型，ワークピース表面の様子を観察した．今後，焼付き発生位置などの整理のため，金型およびワークピースの各部位を**図 2**のように定義した．

表 1 実験条件

Workpiece	SPFC590 (Tensile strength 625 MPa)
Punch	SKD11
Die	SKD11
Clearance, C	2.5 mm
Sliding distance, L	10, 15, 20 mm
Blank holding pressure, P	0 and 6 MPa
Lubricant	P460 ($1500 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ at 25 °C)
Temperature	Room Temperature

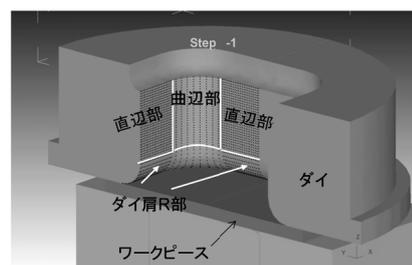


図 2 各部位の名称

3. 実験結果

図3にダイ高さ $L=20\text{ mm}$ ，しわ押え圧力 6 MPa で加工したダイおよびワークピースの焼付き状況の外観写真を示す。ダイではダイ肩 R 部から離れた直辺部の出口付近に焼付きが発生していることがわかる。ワークピースではダイに対応して直辺部が焼付き，直辺部には全体的に金属光沢が見られた。図4にワークピース表面における光沢部と焼付き部の拡大写真を示す。図5に光沢部と焼付き部の断面曲線を示す。これらの結果から，光沢部では平滑な表面に部分的に深さ $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度の縦傷が入っていることがわかる。一方，焼付き部では，大きく表面が荒れて $\pm 6\text{ }\mu\text{m}$ 程度の凹凸が見られた。

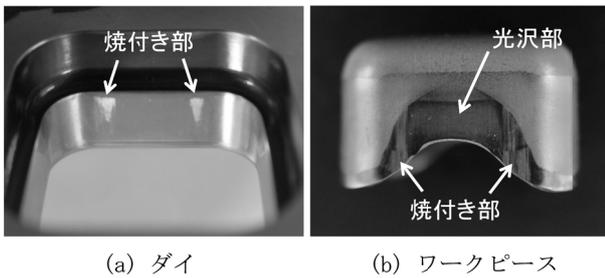
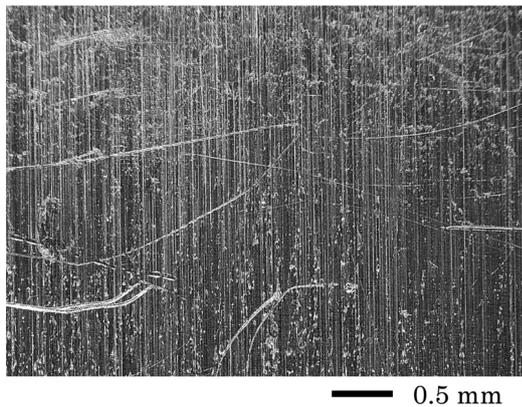
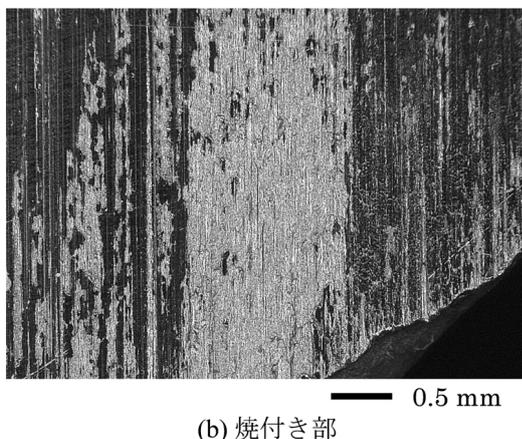


図3 ダイとワークピース上の焼付き状況

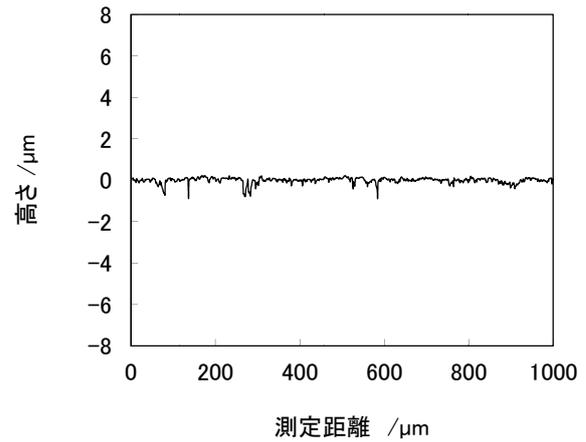


(a) 光沢部

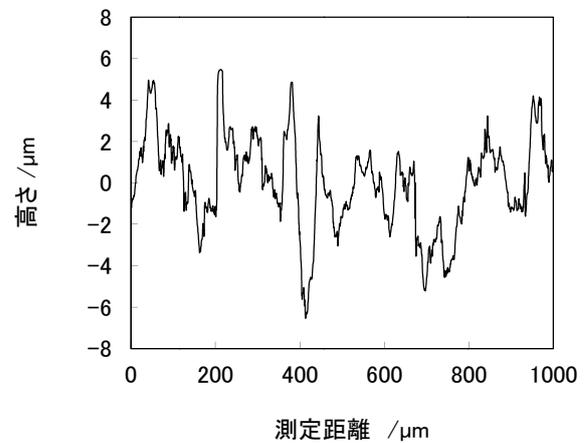


(b) 焼付き部

図4 光沢部と焼付き部の表面拡大写真



(a) 光沢部



(b) 焼付き部

図5 光沢部と焼付き部の断面曲線

図6に各ダイ高さ $L=10, 15, 20\text{ mm}$ における，しわ押え圧力 0 MPa ， 6 MPa で加工回数ごとのダイとワークピースの外観写真を示す。いずれの成形条件においても，わずかな数回の加工で焼付きが発生している。ダイ表面の焼付き位置から判断すると，焼付きはダイ肩 R 部から離れた直辺部の出口付近で発生し，ダイ入口方向へ拡大した。ワークピースでは直辺部の下端面からカップ底面方向へ数 mm の範囲で焼付きが発生している。加工回数の増加に伴いカップ底面側へ成長した。ダイ高さ L が長くなるに従い，ダイへの焼付きの成長は速くなった。

しわ押え圧力が大きくなると，すべてのダイにおいて焼付きが軽減された。すべり距離、しわ押え圧力を変化させても焼付きの発生位置および焼付き範囲の拡大過程には変化は認められなかった。

以上のように，角筒絞り型の摩擦試験では，ダイおよびワークピース上の特定の位置に焼付きを発生させることができ，その拡大過程にも特徴があることを確認した。

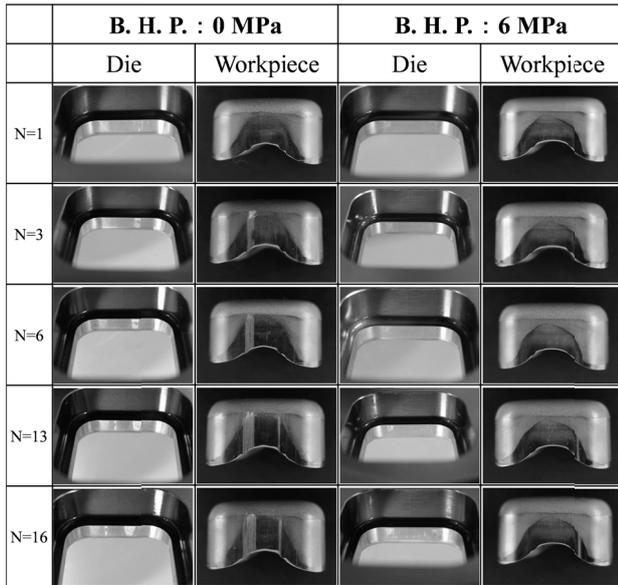
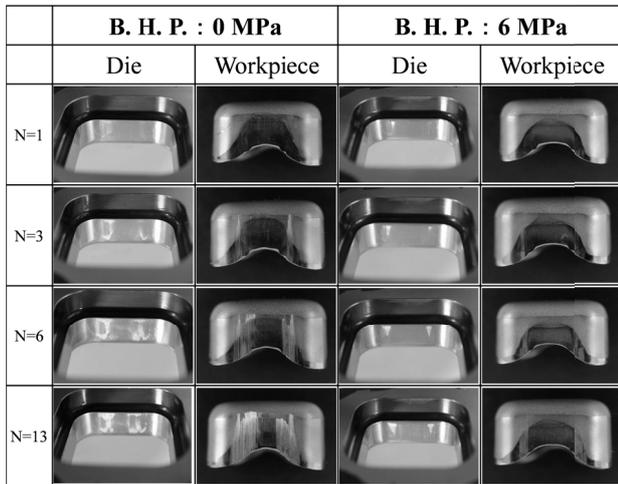
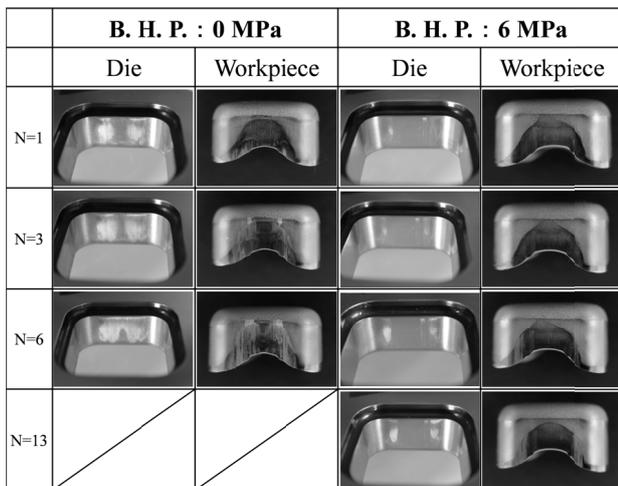
(a) $L = 10 \text{ mm}$ (b) $L = 15 \text{ mm}$ (c) $L = 20 \text{ mm}$

図6 各ダイ高さ L におけるダイとワークピースの焼付きの様子 (N: 加工回数)

4. 解析方法

前章で示した通り、角筒絞り型摩擦試験では焼付き発生部位に特徴が見出せるのであるが、焼付き発生部位と焼付きが発生していない部位の力学的特徴の差異を調査する必要がある。そこで商用有限要素解析コード DEFORM 3D による解析を行った。解析モデルとして角筒を4分割した1/4モデルを対象に等温軸対称解析とした。ダイを弾性体、パンチとブランクホルダーを剛体とした。被加工材は弾塑性体とし、応力-ひずみの関係は $\sigma = 1000 \epsilon^{0.25}$ とした。金型とワークピース間の摩擦係数は $\mu = 0.06$ とした。

本報では、金型表面における力学状況を調査するために DEFORM 3D のポイントトラッキング機能を用い、各点のデータを収集、整理した。なお、測定範囲はダイ肩 R 部の開始点から、ダイ高さ 20 mm の加工面とした。直辺部上の測定点間隔は 0.5 mm、R 部上は R 中心から 10 度毎に測定点を設けた。ダイ表面上の曲辺部、直辺部、ダイ肩 R 部の3領域の3次元データを、平面的に扱うために各面を展開して整理した。

ダイ表面上の一点に着目し、加工中その点における面圧の推移をみたのは図7である。ダイと被加工材が接している間は顕著な面圧の増加が見られる。本解析では、焼付き挙動に関連すると思われる指標として、その点が最も大きい面圧を受けた「最大面圧値」と、ある一定以上の面圧が発生する範囲の成形品とダイとの摩擦距離（以降、すべり距離と呼ぶ）を調査した。ただし、解析精度に起因するばらつきがあるため、面圧が 60 MPa を超えた状態で摺動している距離をすべり距離とした。各評価位置で最大面圧値とすべり距離を測定し、その分布図を作成した。

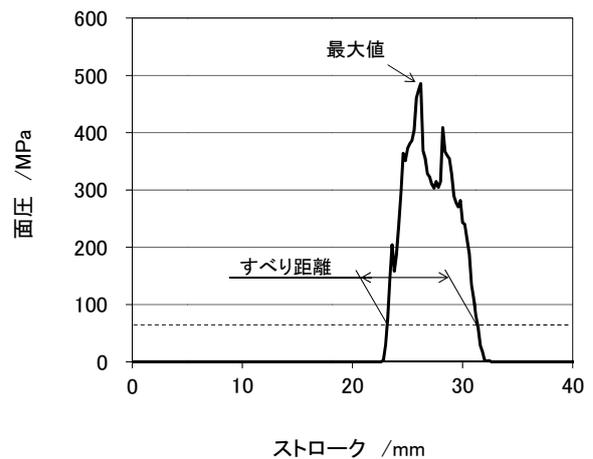


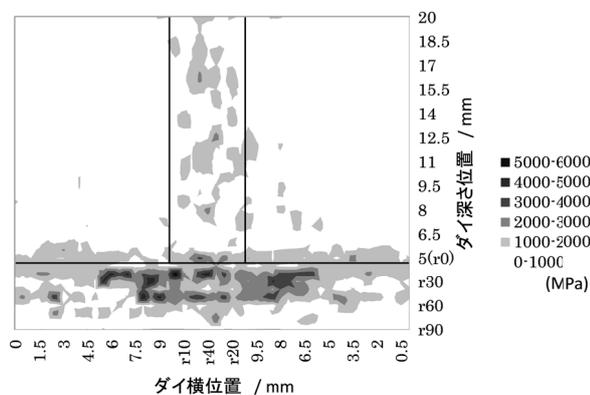
図7 面圧履歴と調査指標 (データは任意点)

5. 解析結果

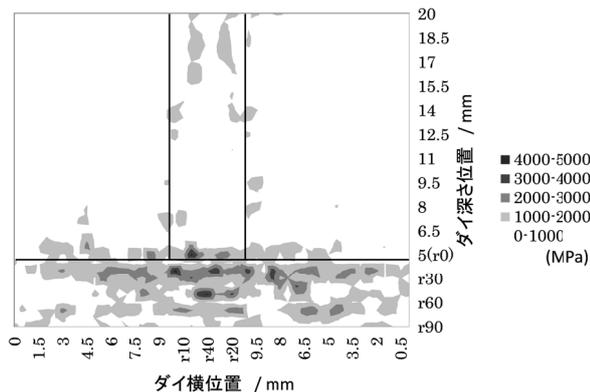
図8にしわ押え圧力が 0 MPa と 6 MPa の面圧最大値の分布図を示す。どちらの結果においても、ダイ肩 R 部において高い値を示していることがわかる。これは板

成形の一般的な挙動として理解できるものである。最大面圧値の分布では、焼付き発生位置の特異性を見出すことが難しいことがわかる。図9にしわ押え圧力が0 MPaと6 MPaのすべり距離の分布図を示す。焼付き発生位置では、焼付きが発生しなかった位置と比較して、すべり距離が長くなっており、すべり距離の分布図が焼付き発生位置を特徴づけていることがわかる。焼付き位置であるダイ出口付近の直辺部では、曲辺部からの材料の流れ込みにより、しわが生成しやすい位置で、肉厚が大きくなりやすく、しごきが厳しい状況になる。したがって比較的長く金型とワークピースが摺動すると考えられる。

以上より、面圧の最大値の分布よりも、すべり距離の分布の方が、ダイ表面上の焼付き発生位置の分布と位置関係が類似していることがわかった。そのため、焼付きの発生位置を判断する指標の一つとして、すべり距離が関連していると考えられる。

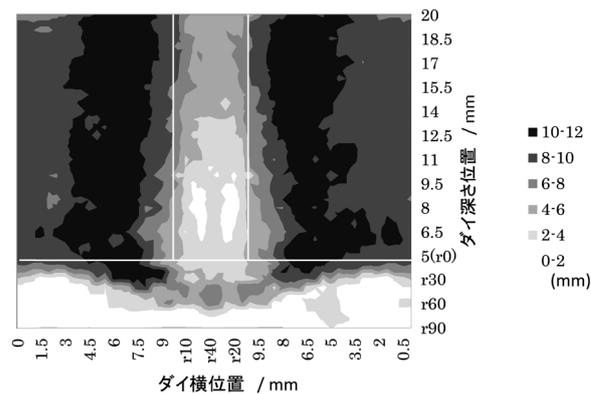


(a) しわ押え圧力 : 0 MPa

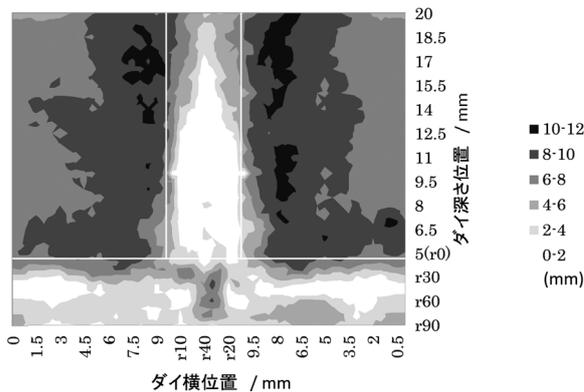


(b) しわ押え圧力 : 6 MPa

図8 最大面圧値の分布図



(a) しわ押え圧力 : 0 MPa



(b) しわ押え圧力 : 6 MPa

図9 すべり距離の分布図

6. 結言

本研究では、高張力鋼板の焼付き判断基準の開発のために角筒絞り型の摩擦試験を行った。その結果、角筒絞り摩擦試験により、ダイおよびワークピース上の特定の位置に焼付きを発生させることができ、その拡大過程にも特徴があることを確認した。また、有限要素解析を用いて調査した結果、すべり距離の分布は、ダイ表面上の焼付き発生位置の分布と位置関係が類似していた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、財団法人天田金属加工機械技術振興財団に研究助成をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 王志剛, 窪田寛之, 薛德州, 林昌権, 岡村政明: 塑性と加工, **47-549** (2006), 988-992.
- 2) V.N. Wijayathunga and D.C. Webb, J. Mater. Proc. Technol., **172** (2006), pp.139-145.
- 3) S. Kataoka, M. Murakawa, T. Aizawa and H. Ike, Surf. Coat. Technol., **177-178** (2004), pp.582-590.
- 4) K. P. Rao and J. J. Wei, Wear, **249** (2001), pp.85-92.