プレス成形時の高速成形における摩擦特性計測に関する研究

日本大学 生産工学部 機械工学科 教授 高橋 進 (平成 24 年度一般研究開発助成 AF-2012021)

キーワード:摩擦,高速,アルミニウム合金板

1. 研究の背景と目的

現在,自動車メーカーは地球温暖化対策として自動車 の排出ガス削減が求められており,車体の軽量化が積極的 に進められている.車体軽量化には高張力鋼板やアルミニ ウム合金板など軽量化材料が適用されているが,普通鋼板 と比較してスプリングバックが大きく,また成形性が低い ことから金型開発に多大な時間を必要としている.

自動車の車体を構成する板材のプレス成形部品は、われ、 しわ、スプリングバックおよび面ひずみに代表される不具合が 発生する場合がある.これらの不具合の発生事前予測は、金 型開発及び製品開発の期間短縮に大きく貢献する.事前予 測技術としては、有限要素法による成形シミュレーションが、 適用されている.成形シミュレーションの高精度化のためには、 降伏関数等の高精度化が進められているが、成形性に影響 を及ぼすと考えられる成形中の板材と金型間の摩擦に関する 研究は、見当たらないのが現状である.

自動車のパネル部品等のプレス成形時では,材料の引張 速度は,300mm/sの高速に達する.その時は,板材と金型と の間の摺動速度も同程度になると考えられる.そこで本研究 では,300mm/s以上で素材が金型間を摺動する時の荷重を 計測可能な,ジグを開発する.摩擦計測試験は,高速でかつ 一定速度で行われる必要があり,通常の引張試験機ではクロ スヘッドの速度が最大で5mm/s程度なので,材料の引抜きの 駆動力としてサーボプレスを活用する.高速でかつできるだけ 定速で金型間を材料が引抜ける様な,治具を開発すると共に, 金型材質,素材と金型との接触圧力および摺動速度を変化さ せた時の摩擦特性を検討したので報告する.

2. 摩擦試験治具の設計

2.1 治具設計における基本方針

摩擦試験治具の開発において、駆動力の発生源として、 治具の試験片を固定しているチャックの位置および速度 共に精度良く制御可能なサーボプレスを使用することと しているので、当該プレスの仕様に適した治具の考案を行 った.サーボプレスは、図1に示す、2000kNの能力を有 する SDE-2025 (アマダ製)を用いることとして、構造等 を考案した.

設計の基本方針を以下に示す.

- ① 指定した摺動速度で、摩擦試験が行える.
- ② 素材と金型との接触圧力を自由に設定可能とする.
- ③ 素材に均等に金型から圧力が作用する.
- ④ 金型の設置位置を容易に決められる.
- 5 試験片のセッティングを容易にする.

⑥ 構造を簡素化して、製作費用を削減する.



図1 摩擦試験に使用したサーボプレス

2.2 設計の基本方針に対応した治具設計

設計した治具を図2に示す.治具の高さは,適用したサ ーボプレスのスライドとボルスター間の寸法を参考にし て決定した.前述した設計指針の各項目に対して,開発し た治具への対応結果を以下に示す.

① 指定した摺動速度で、摩擦試験が行える.

サーボプレスは、スライドの速度および位置をプログラ ムで任意に設定・制御が可能なのが特徴である.しかしな がら、モータによってスライドを制御しているので、速度 が速くなると、設定速度に達するまでに時間を要する.し たがって、スライドが設定速度に達するまでの間に、試験 片には荷重が作用しないようにする必要がある.そこで、 図 2 示されているように、試験片下端のチャックは、試 験開始直後は、治具の他の部品と接しておらず、スライド が、50mm 上昇した時点で、治具のフレームに接触して上 昇が停止し、試験片に荷重を作用させる機構とした.この 機構は、既開発の同様にサーボプレスを使用した高速引張 試験の開発時に考案した機構¹⁾を参考に設計を行った. 本実験で採用したサーボプレスの場合、スライドの上昇速 度 500mm/s に充分な、加速距離として 50mm の試験片の空 走距離を設定した.

② 素材と金型との接触圧力を自由に設定可能とする.

摩擦試験の場合,素材の金型との摺動速度の制御と共に, 金型を素材に押さえ付ける圧力の制御も大切である.そこ で任意の圧力を発生させるために,油圧ジャッキを使用し た.実験では,ジャッキに作動油を送り込む油圧式の手動 ポンプ(TWA-0.3:大阪ジャッキ製)とフラットジャッキ (EF10S1.1:大阪ジャッキ製)を使用して片側の金型から圧 縮荷重をかけることとした.

③ 素材に均等に金型から圧力が作用する.

油圧ジャッキは、金型の中央を押すように配置した. そ の作用圧力の測定には、油圧ジャッキが荷重を作用させて いる金型の反対側の金型と治具のフレームとの間に、2個 のロードセルを配置した. ジャッキによる荷重点とロード セルによる金型の支持点は、2等辺三角形をなすように配 置し、素材に金型から均等な圧力が作用するようにした. ④ 金型の設置位置を容易に決められる.

金型の中央に素材を配置し、かつ素材と金型の表面が平 行になるように、荷重を付加する前の金型を配置するため に、金型の両側に金型の側面と平行にガイドを配置した. また、金型がガイドと接すると計測荷重に影響するので、 両者間に 1mm 程度の一定の隙間を設けられるように、隙間 と同じ板厚の治具を用いて、金型の容易な位置設定を可能 とした.

⑤ 試験片のセッティングを容易にする.

試験片は、図2に示されているように、治具の中央に配置されている。治具への試験片のセッティングを容易にするために、チャックに固定した試験片を治具内に装着できるように、治具のフレームの一部にスリットを加工して、試験片がスリットを通って治具中央に設置可能とした。 ⑥ 構造を簡素化して、製作費用を削減する。

治具の部品形状をできるだけ簡単にして、加工費を削減 するために、鋼のプレートをボルトで締結する構造とした. ただし、金型を試験片に押付けるために油圧ジャッキを作 用させると、フレームの縦板を変形させる可能性が考えら れるので、フレームの縦板をサポートするために、タイロ ッドを金型の両脇に各2本配置して、治具の剛性向上によ り試験片へ作用する圧力の均一化を狙った.

ロードセル1,2(2個) ロードセル3

タイロッド タイロッド 金型 チャック ッキ

a)試験前(試験片装着時)b)試験終了時図2 開発した摩擦試験治具

その他の実験上の配慮として,金型と治具のフレーム間 の摩擦の低減にために,金型とフレーム間にテフロンシー トを配置して実験を行った.図3に金型等のセッティング 状況,図4にサーボプレスに装着した試験前の状態の高速 摩擦試験治具を示す.

油圧ジャッキから金型に伝えられた荷重を圧縮型ロー ドセル(LCX-A-10kN:共和電業製)を2個使用して測定する. 金型から試験片に圧力を負荷した状態で、サーボプレスの スライドに装着されている金型を高速で上昇させる.この 時に、金型と試験片間の摩擦力を引張型ロードセル(LUK-A 100kN:共和電業製)で測定する.摩擦力を金型の圧縮力で 除することで摩擦係数を求めた.



図3 試験開始前の金型等セッティング状況



図4 試験前の高速摩擦試験治具

上記の設計による治具を製作し、トライアルの試験を行ったところ、金型の試験片への圧縮力を計測する2個のロードセルの荷重が、40%異なる結果となった. 左右の金型の値が異なる場合は、試験片への圧力が不均一になっていることが考えられる. 金型の油圧ジャッキで押されている面を確認したところ、金型の油圧ジャッキとの接触面に片当たりしている痕跡が確認された. そこで、図5に示すように、油圧ジャッキの可動面に球面座を配置することにより、圧力の均一化を行った.

球面座は、1点に大きな荷重が作用するので、金型材料 のSKD11を熱処理して使用した.球面座はジャッキへ両面 テープを用いて接着した.



図5 球面座の設置位置

また,実験において,試験片が金型上を滑り出す時の時間を正確に計測するために,荷重の計測と同時期にスタートさせた高速度カメラによって試験片の移動状態を把握し,摩擦力の評価領域を正確に求めた.

3. 高速摩擦実験

3.1 試験片

試験片は長さ300mm,幅30mm,厚さ1mmとし,材料は, アルミニウム合金板(A5052-0)の表面がダル仕上げを使 用した.試験片の切り出し方向は,試験片の長手方向が圧 延方向とした.試験片の写真を図6に示す.



図6 試験片の外観写真

3.2 金型

金型の写真を図7に示す. ロードセル側は, ロードセル を2個並べるので, ジャッキ側より幅が広くなっている. 金型の材質は, SKD11 (HRC60) および FCD600 (HRC10) と した.



a)ロードセル側b)ジャッキ側図7ロードセル側およびジャッキ側の金型

金型と素材との接触面積は、面圧を計算するために重要 である.接触面の長さは、試験片の幅となるので、接触面 の幅の寸法計測が重要となる.また、金型の接触部分の両 側は、試験片表面を傷つけないように、R形状となってい るので、接触幅の長さは、R止まり間の距離とした.距離 の計測には、読取顕微鏡(NRM-D-ZXZ:ミツトヨ製)で金 型形状を拡大して計測を行った.計測位置は,金型の接触 面の長手方向の中心と,その中心より左右に 17mm の位置 での平面部分の長さを計測して,平均値を当該金型の接触 面の幅とした.接触面の両側のR部分もバフ仕上げを行っ ているが,その部分は,手仕上げであることから,接触面 の幅に影響をおよぼす.そこで,それぞれの金型での計測 値で,値の差が近くなる組み合わせを探して,実験を行っ た.接触面の幅は,ペアの金型の計測値の平均値とした.

摩擦試験では、金型の表面状態が測定結果に大きく影響 すると考えられる.金型の試験片との接触面は、金型の接 触面の長手方向にバフ仕上げを施している.金型の素材と の接触部分である、金型の中央部分の顕微鏡写真(200倍) を図 8 に示す.観察には、顕微鏡(EPIPHOT 200:NIKON 製)を用いた.図の縦方向が、素材が移動する方向となっ ている.したがって、バフ仕上げによる傷と垂直方向に材 料が接触しながら移動することになる.傷の方法と材料の 移動方向が垂直なので、潤滑剤は、試験中に接触部分外に 流れにくく、潤滑効果としては良い方法に作用すると考え られる.



a) SKD11 b)FCD600 図8 金型の表面状態

金型の試験片との接触面での表面粗さを,表面粗さ計 (サーフコム 2900SD3-12:東京精密製)を用いて計測し た.計測で得られたグラフを,図9に示す.図より,SKD11 の方が FCD600 よりも,表面が平滑であることがわかる. SKD11 の Ra と Rz の平均は,それぞれ,0.436 (μm)と3.6 (μm)であった.また,FCD600 の Ra と Rz の平均は,そ れぞれ,0.508 (μm)と4.0 (μm)であった.

3.3 実験条件

実験条件は、面圧を 5~10MPa に変化させ、引抜速度を、 5、500mm/s に変化させて試験を行った. 潤滑剤は、洗浄 防錆油(プレトン R303P:スギムラ科学工業社製)を使用 した. 試験毎に金型表面をウエスで拭いて傷の有無を確認 し、付着物がある場合は、取り除いて実験を行った.

3.4 実験結果

面圧が 5MPa, 引抜速度が 500mm/s の場合の実験結果を 以下に示す.図9に,金型の押付力を計測した結果を示す. 縦軸が押付力,横軸が時間である.また,図10に引抜荷 重と時間の関係を示す.実験結果は,計測を開始してから プレスのスライドが動き出すまで,当該スライドの加速域, 計測(定速)域および減速域を含む.本実験結果の場合は, 測定開始から,2.2s後に計測域が始まっている.図11に 示す摩擦係数と時間の関係において,摩擦係数が変動して いるので,計測域の摩擦係数を平均した.

各実験条件での摩擦係数と面圧の関係を図 12 に示す. 面圧は、5~10MPa に変化させて計測した.金型材料(2 種)と引抜速度(2条件)の合計4条件の実験を行った. SKD11を使用し、引抜速度が500mm/sの時のみ、試験片に 変形なく引抜けたが、他の条件の場合は、試験片が変形し た.これは、SKD11の方が、表面粗さが小さいことが影響 していると思われる.金型材料がFCD600の場合、面圧の 摩擦係数への影響は少なかった.引抜速度が上昇すると、



(面圧:5MPa, 引抜速度:500mm/s)



図10引抜荷重と時間の関係 (面圧:5MPa,引抜速度:500mm/s)



(面圧: 5MPa, 引抜速度: 500mm/s)



摩擦係数が減少した.500mm/sの高速での摩擦試験の結果, 摩擦係数は、約0.15であった.これは、自動車部品の板 成形シミュレーションで、一般的に使用される値に近いこ とから、高速での成形域における摩擦係数が適用されてい ることが分かった.一方 SKD11では、面圧が上昇すると摩 擦係数が減少した.同じ面圧の場合は、引抜速度が増加し ても、両者の摩擦係数の差は少なかった.

SKD11 と FCD600 で同様の摩擦と面圧の関係の傾向が観 察されず摩擦の発生メカニズムに差があると思われるが, その理由については、今後検討したい.

自動車の板成形部品を成形用金型の材料の一つである FCD600 の場合は、引抜速度の摩擦係数への影響が大なの で、成形シミュレーションの解析精度を向上させるために、 摺動速度に依存した摩擦モデルの構築が有効と思われる.

4.結言

- 自動車部品のプレスの成形速度でのサーボプレスを 活用した高速摩擦試験方法を提案した.
- 2) 金型材料が FCD600 の場合,面圧の摩擦係数への影響 は少なかった.引抜速度が上昇すると,摩擦係数が減 少した.
- 3) 金型材料が SKD11 の場合は、面圧が上昇すると摩擦係 数が減少した.引抜速度が増加しても、同じ面圧の場 合は、摩擦係数の差が少なかった.
- 金型材料が SKD11 の場合, FCD600 と比較して, 引抜速 度が 500mm/s の場合, 高い面圧まで摩擦係数の計測が 可能であった.
- 5) FCD600 と SKD11 では, 摩擦係数と試験片・金型間の 面圧の関係の傾向が異なっており, 摩擦の発生メカニ ズムに差がある可能性があることが分かった.

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-2012021)により行われました.ここに深甚なる謝 意を表します.

参考文献

 日本塑性加工学会:サーボプレス利用技術 研究成果 報告書,(2011), 6-8.