

プラスチックの精密プレス加工 —振動張出し成形—

Precision Press Forming of Plastic Polymer Sheets
—Vibratory Bulge Forming—

横井秀俊*・小林典彦**
Hidetoshi YOKOI and Norihiko KOBAYASHI

1. はじめに

プラスチック板材の成形法には、真空成形や圧空成形などの熱成形法、ならびに金属加工と同様の常温塑性加工法¹⁾がある。熱板、熱炉による板全面の加熱軟化と賦形冷却工程を基本とする熱成形では、成形サイクルの増大とエネルギー効率の低下を招き、形状精度上にも問題を残す。一方、固相変形加工による常温塑性加工では、残留応力と、高分子の形状記憶効果²⁾に基づく形状の経時変化、白化現象などの欠陥を伴う³⁾。これら熱成形と常温塑性加工とは互いに欠点を相補完し合う関係にある。

著者らは、短時間内に素材を繰り返せん断し、それによる局所熱軟化領域を無理なく精密せん断する振動仕上げ抜きの研究を行って来た⁴⁾。この手法では、素材の常温変形加工から、変形エネルギーの熱変換プロセスという直接発熱によって、素材の熱軟化状態を導く。これをせん断成形加工へと活用している。その意味で、常温塑性加工と熱成形の二者が融合した新しい加工形態とみなすことができた。この原理に基づけば、広く一般の成形加工においても両加工法の前記欠点を克服できることが期待される。

本報告では、以上の思想により繰り返せん断曲げエネルギーを張出し成形へと活用することを試み、基礎実験を通してその可能性を検討する。

2. 振動張出し成形

図1に本法の概略を示す。上下に対向する二対の工具で板を拘束し、上下ポンチを振動させる。このとき、工具すき間を大きくすると、ポンチ角部近傍の板材料はせん断曲げ変形を受け、発熱・軟化する。こうした熱軟化領域がある幅を持ったとき上下ポンチを下降させると、熱軟化による変形能向上を背景として、この領域の局所的伸びが容易に引き起こされ、張出し成形が行われる。

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 信越ポリマー(株)

3. 実験方法

実験装置ならびに実験手順は既報⁴⁾と同一である。表1に実験条件を、表2に供試材を示す。

使用ポンチはφ5mmとφ6mmの2種類である。それぞれ切刃部をR付き(R0.5)とRなし(R0.0)、材質をSKD11と紙フェノールとして、φ8.5mmの上下ダイス(R0.5、紙フェノール)と組み合わせた。ここでは工具面からの熱損失低減を狙って、FRP(紙フェノール)製工具を一部使用する。以下では特に付記しない限りポンチR0.0、SKD11とする。ポンチ振動波形は、発熱工程 t_1 と張出し工程 t_2 よりなる図2に示す2種類の波形 $T_a(t_1 : t_2)$ 、 $T_b(t_1 : t_2)$ を用いた。供試材としては、真空

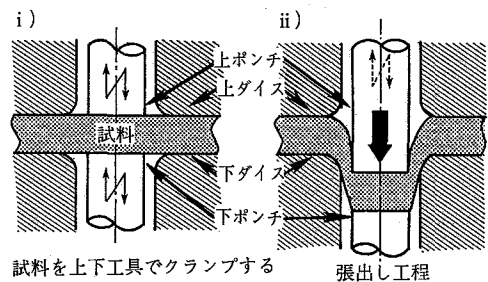


図1 振動張出し成形の概略

表1 実験条件

基本波形：50 Hz, 片振幅 0.3 mm, 正弦波
ポンチ：φ5 mm (R 0.0 と R 0.5), φ6 mm (R 0.5)
ダイス：φ8.5 mm (R 0.5)
工具潤滑：なし
ポンチによる板拘束力 P：5, 10, 20 kgf/mm ²
ダイスによる板拘束力 D：5 kgf/mm ² 一定

表2 供試材

材料名	品名 (製造会社)	柔軟温度℃	板厚 t mm
硬質塩ビ	カピロンプレート	58-80	1.0, 2.0
PVC	(笠井産業)	(カタログ値)	

研究速報
成形用一般材料である硬質塩化ビニル (PVC) を取り上げ、比較的成形時間を要する 2.0 mm 厚の板材を中心に実験を行った。

以下では、張出し高さ h と成形形状、白化・クラック等の欠陥生成状況により成形品の評価を行い、欠陥生成

を伴わない限界の張出し高さ h_{max} と各種加工因子との相関を明らかにする。

4. 振動張出し実験

4.1 張出し過程の観察

材料予変形は、被張出し領域の局部的熱軟化をもたらす。通常高い張出し抵抗を示す常温加工に対し、18 秒予変形後の材料では、張出し初期に図 3 のようにほとんど変形抵抗が記録されない。張出しストローク S の増大と張出し速度 V の低下により、この熱軟化領域は冷却されやすくなる。そのため張出し抵抗も大きくなる傾向がある。

図 4 に張出し成形品の外観写真を、また図 5 に張出し

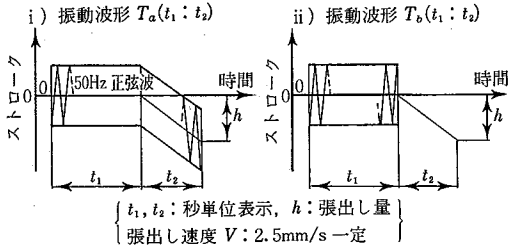


図 2 ポンチ振動波形

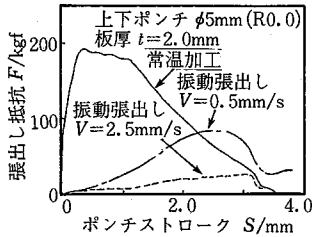


図 3 張出し抵抗曲線

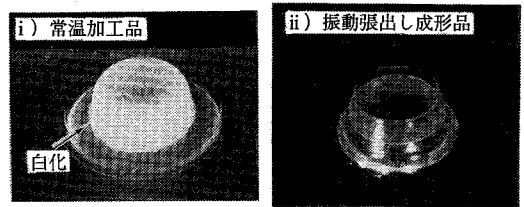


図 4 張出し成形品の外観
(張出し高さ $h=3.0$ mm, 上 $\phi 5$ (R0.0), 下 $\phi 5$ (R0.0))

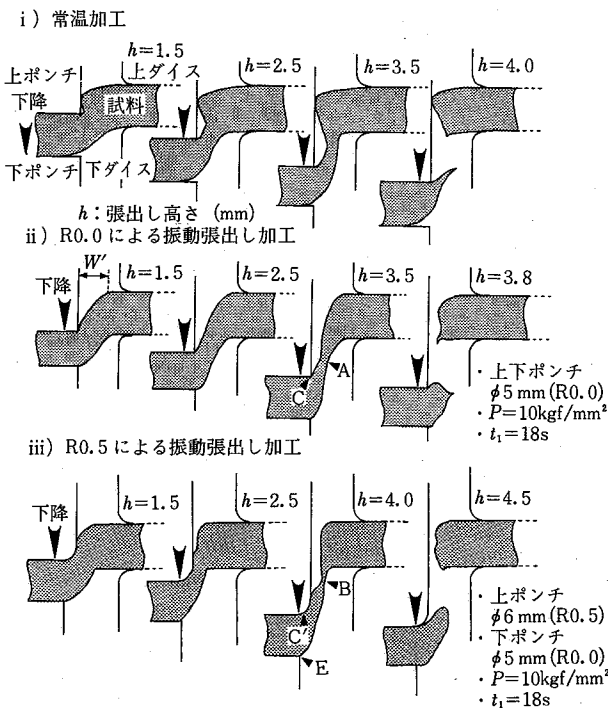


図 5 成形過程における張出し部断面形状変化

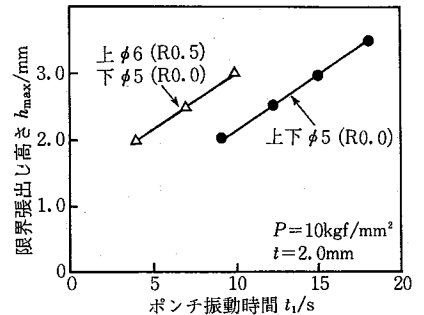


図 6 ポンチ R の有無による張出し高さの差

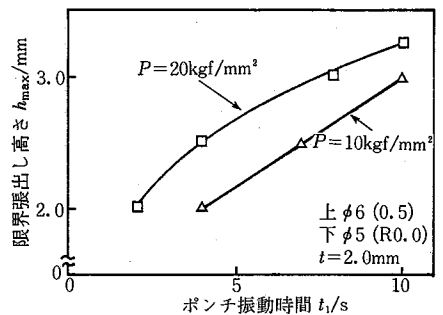


図 7 ポンチ締付け力 P の影響

研究速報

過程における成形品半断面の形状変化 (R0.0 と R0.5) を常温加工と比較して示す。常温加工では、図 5 i) のように、ほぼせん断に近い変形から引張破断が引き起こされる。その結果図 4 i) に示される白化現象が全域に広がっている。これに対し、振動張出しの図 4 ii) では、白化が全くないシャープな成形品外観が示されている。その成形過程は、R0.0, R0.5 のいずれも $h=2.5\sim 3.0\text{ mm}$ まで熱軟化領域の一樣伸びが示される。この際工具すき間が片側 $1.25\sim 1.75\text{ mm}$ と大きいいため、張出し成形の凸部側面 (図 5, A 面) はグイスと未接触のまま成形がなされる。工具切刃部近傍 C の接触状況により、樹脂の冷却程度に差異が生じる。最終段階で ii) R0.0 では張出し中央部 A が、iii) R0.5 では付け根部分 B がおのおのくびれて、引張破断する。張出し部底面は、繰り返し圧縮変形を受ける結果、ほぼ $0.1\sim 0.2\text{ mm}$ 、板厚が薄くなる傾向も示された。

4.2 限界張出し高さ h_{max} に及ぼす各種加工因子の影響

ここでは、以下の標準条件のうち当該条件のみ変動させたときの h_{max} に及ぼす影響を明らかにする。すなわち、上ポンチ $\phi 6.0\text{ mm}$ (R0.5, SKD 11), 下ポンチ $\phi 5.0\text{ mm}$ (R0.0, SKD 11), 振動波形 T_a , 張出し速度 $V=2.5\text{ mm/s}$ 一定, ポンチ締付力 $P=10\text{ kgf/mm}^2$, 板厚 2.0 mm , その他は表 1 の各条件とする。

4.2.1 ポンチ形状の影響

ポンチ形状は、成形品形状と加工効率に影響を及ぼす。上下ポンチ形状の組み合わせは、Rの有無とその大きさ、上下工具径の組み合わせを入れると無数になる。Rの付与は、下ポンチにおいてR形状の一部転写により図 5, Eの個所に小さな膨らみをもたらす。また上ポンチにおいては、内側エッジ部に工具先端のR形状が正確に転写される結果、図 5, C' に示すような波形状が出現する。

このように、工具Rは形状面で一部問題を引き起こすが、それにより変形領域が大きくなるため、加工初期からある幅を持った領域の熱軟化を容易に達成できる。図 6 は $T_a(t_1 : t_2)$ における t_1 と h_{max} との関係を示して

いる。R0.5では同一 h_{max} を得るための t_1 がR0.0に比べ半減している。

4.2.2 ポンチによる板の初期締付力 P の影響

図 7 にポンチ締付力 P と h_{max} との関係を示す。 P を 2 倍にすると、同一の h_{max} を実現するために必要な t_1 はいずれも $2\sim 3\text{ s}$ 時間短縮できる。ただし P が大きくなると張出し底部の板厚減少は加工初期から大きく、 $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ になる。この板厚減少に対応する材料が成形領域に供給され、成形限界を全体に高めるものと考えられる。

4.2.3 振動波形の影響

材料予変形に続く張出し工程では、振動の有無が h_{max} に影響を及ぼす場合も観察された。図 8 は $T_a(9 : t_2)$, $T_b(9 : t_2)$ の両波形のもとで h_{max} と t_2 との関係調べたもので、R0.5では T_a の h_{max} が明らかに高く示される。一方R0.0の同様の実験では T_a, T_b の差はほとんど認められていない。これより張出し工程での振動付与は、R付工具において、張出し部材料の伸び変形能向上と、工具面と材料との実接触時間の低減に少なからず寄与していることが想像される。

4.2.4 板厚の影響

板厚を $t=1.0\text{ mm}$ と小さくすると、図 9 のように成形時間は $1/2\sim 1/3$ と大幅に短縮される。同時に成形限界を示す h_{max}/t においても、 $t=2.0\text{ mm}$ の最大 2 に対し、 $t=1.0\text{ mm}$ では容易に 2.5 以上にまで高められた。これらは板厚減少に伴って相対的に振動振幅 a の板厚比 a/t が増大し、発熱量の増加をもたらすためと考えられる。

装置能力の関係から、ここでは $a=0.3\text{ mm}$ 一定としたが、以上の結果は逆に h_{max} と振動振幅との強い正の相関を示唆するものといえよう。

4.2.5 工具材質の影響

金属の熱伝導率は樹脂に比べ二桁ほど高く、金属工具からの熱損失は予想以上に大きい。図 10 は、 $t=1.0\text{ mm}$ での金属工具と FRP 工具による張出し効率の比較である。FRP ポンチでは金属に比べて $2\sim 10\text{ s}$ の時間短縮を

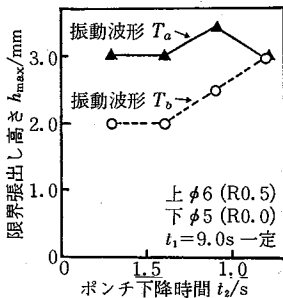


図 8 h_{max} に及ぼす振動波形の影響

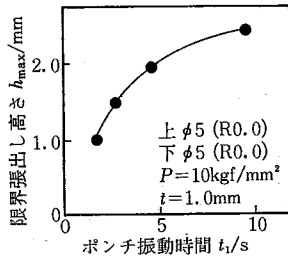


図 9 板厚 $t=1.0\text{ mm}$ における限界張出し高さ h_{max} と t_1 との関係

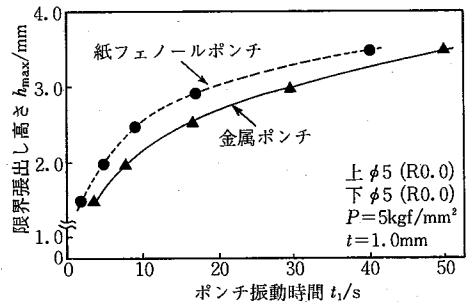


図 10 工具材質の影響

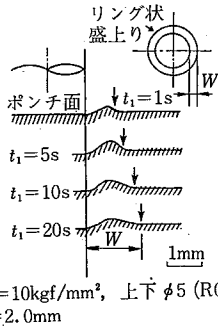


図11 熱軟化現象に伴うリング状盛上がりの生成

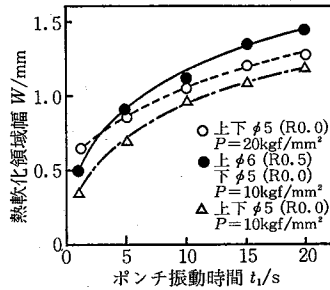


図12 ポンチ振動時間 t_1 とリング幅 W との関係

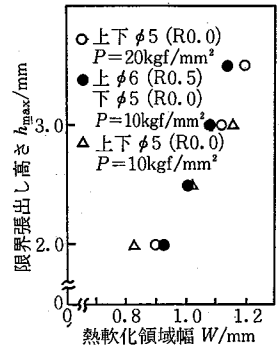


図13 リング幅 W と限界張出し高さ h_{max} との相関

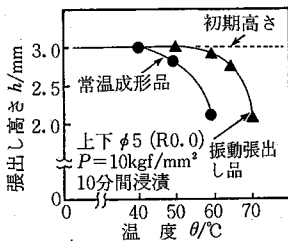


図14 温水中での張出し高さの変化

達成している。両者の差異は、 $t=2.0\text{mm}$ ではそれほど顕著ではない。しかし $t=0.8\text{mm}$ 以下では金属ポンチによる張出しは困難となるなど、薄板になるほどその差は際立ってくる。なお $t=2.0\text{mm}$ を FRP ポンチで加工すると、熱が局所的にこもり過ぎ、張出し工程でその部位がせん断分離されることもあるため、注意が必要である。

4.3 熱軟化領域の広がり幅 W と h_{max} との関係

本法では、前工程の常温塑性加工における材料発熱の広がりとその熱軟化の程度が、続く局所的熱成形の成否を決定する。以上の考え方は下記の実験結果にて裏付けられる。

前工程で t_1 を増大させると、図 11 のようなリング状盛り上がりの生成が観察される。このリング幅 W は、図 5, ii) の熱軟化領域幅 (張出し成形幅) W' の値にほぼ対応することが確認される。図 12 は各種条件における W と t_1 との関係を調べたもので、この図から R の付与、ポンチ面圧の増大は、加工初期から大きな W を得るのに有効であることが示されよう。ここでたとえば図 6 と図 12 とを対応させ、 t_1 をパラメータとして W と h_{max} との関係を求めてみた。両者の関係を示す図 13 では正の強い相関が読みとれる。これは、熱軟化領域幅によって h_{max} が一意に規定されることを物語っている。

5. 温度に対する形状安定性

各種温度の温水中に成形品を 10 分間浸漬し、張出し高

さ h (成形直後 3.0mm) の変化を調査した。図 14 に測定結果を掲げる。常温加工品での寸法変化は 40°C から始まるが、本法ではほぼ 60°C 近傍まで形状変化は認められない。この温度は、一般の PVC 真空成形品における使用限界温度 (60°C 前後) に対応している。これより、本法では常温塑性加工の手法をとりながら、真空成形レベルの約 $100\sim 120^\circ\text{C}$ の局所加熱を達成していることが推定される。

6. おわりに

前加工の常温塑性加工により機械的に材料を発熱させ、次に局所的な熱成形を行う振動張出し加工を提案し、硬質 PVC を用いて張出し実験を試みた。本法により、白化のない $h=3.5\text{mm}$ のシャープな成形品が実現され、その h_{max} が熱軟化領域 W に規定されること、成形品が真空成形と同等の形状安定性を示すことを確認した。

本法は、原理的には低靱性のアクリル等を除き熱可塑性樹脂一般に適用できよう。しかし h_{max}/t を大きくとる場合には、真空成形の容易な材料に適用が限定されるものとみられる。すでに局所熱成形加工によりフランジ穴加工の可能性も示唆されており、本法は今後さまざまな応用形態を生むことが期待されよう。

終わりに、本研究遂行にあたり御助力を承った本所、中川威雄教授に謝意を表します。

(1985年7月29日受理)

参考文献

- 1) プラスチックの塑性加工分科会：塑性と加工，17-183 (1976-4)，253
- 2) 牧野内：塑性と加工，20-222 (1979-7)，618
- 3) 小林：塑性と加工，11-115 (1970-8)，551
- 4) 横井・中川：塑性と加工，25-279 (1984-4)，335