成形加工のレオロジー

RHEOLOGY IN MATERIALS PROCESSING

資 料 TECHNICAL NOTES

硬質塩化ビニルシートのプレス成形*

宮川松男** 星 沢 聖*** 井上 奏一***

岩崎茂弘*** 小林利昭*** 和田善通***

Warm Press Working of PVC Sheet

by

Matsuo MIYAGAWA, Sei HOSHIZAWA, Soichi INOUE,

Shigehiro IWASAKI, Toshiaki KOBAYASHI and Yoshimichi WADA

(Faculty of Technology, Tokyo Metropolitan University, Tokyo)

The fabrication of final products in sheet plastics are generally performed by means of vacuum and blow forming methods. Now it is considered that if the conventional process for sheet metal press working operations is applied to the forming of sheet plastics, the working cycle will become more efficient, and then it will contribute to the reduction of production costs. In recent years the studies on this subject have been made by some researchers.

The present study deals with the performance of the stretch and deep drawing operations for the hard PVC sheet by means of the similar tooling as is used in sheet metal pressing. For this purpose, first as the fundamental procedure of the forming conditions, several mechanical and forming characteristics were tested, such as the mechanical properties based on the uniaxial tensile testing, the flow and softening properties, using the Kōka-type flow tester, the stretch formability, using the Erichsen testing machine provided with a heating unit, and the deep-drawability by means of the cupping apparatus having conical dies.

From the results obtained in these tests, when cylindrical shells are deep-drawn from a flat blank by means of a conical and a flat-formed dies respectively, the maximum successful drawing ratios achieved in a single pressing were examined. In warm press drawing, it was found that the deep-drawability of PVC sheet within the proper forming temperature range from a minimum value of 56 °C to about 90 °C was preferable. And also, the deformation mechanism in deep-drawing work of PVC sheet could readily be traced in a similar way to the plasticity analysis for sheet metal drawing, then, the forming limit calculated theoretically was shown in satisfactory agreement with the data given by the drawing experiment. In spite of the excellent drawing formability, high anisotropy on the radial draw deformation was generated at the cylindrical part, and as a result of the wide allowance of the thickness of PVC sheet the unsteady forming conditions frequently occurred.

(Received Feb. 6, 1964)

熱可塑性樹脂シート材の二次成形としては真空成形法および吹き込み成形法などが現在主として利用されている。しかし、成形温度と加工速度について素材の力学的挙動に適合するように取り扱えば金属薄板のプレス成形とほぼ同じ手法でこれらシート材の二次成形ができるようになる。ここでは硬質塩化ビニルシートの張出成形および深絞り成形に関する基礎資料について報告する。実験は引張試験、エリクセン試験、コニカルカップテスト、円錐ダイスによる単動深絞り、

およびばね式しわ押え付平面ダイスによる円筒深絞りなどについて、温度および加工速度を変数とした一連のデータを求め、これらの結果から張り出しおよび深絞り成形判定の可否および最適深絞り加工条件を検討した。

1 引 張 試 験

試験片の形状、寸法は JIS K 6723 を用い、中央部幅は平行部より 0.02~0.03 程度縮小したものとし、破断位置を指定した。また、試験前に試験温度に 1 時間 conditioning した板厚は全平均 1.03 mm に対し、+14%、-6.1% のばらつきがあった。引張強度 σ_b は二元配置法による分散分析の結果、温度効果 90.0%、速

* 原稿受理 昭和39年2月6日

** 正員 東京都立大学工・機械 東京都世田谷区深沢町

*** 東京都立大学工・機械 東京都世田谷区深沢町

Table I. Tensile strength, σ_b (kg/mm²).

Temperature Load rate	21°C	40	50	60	70	90
1.35mm/min	7.3	4.5	2.8	—	—	—
5.45	7.8	5.5	3.6	2.4	—	—
21.8	8.4	5.9	4.6	2.7	1.3	—
88.2	8.8	6.2	5.2	2.7	1.8	0.6

Table II. Yield stress, σ_s (kg/mm²).

Temperature Load rate	21°C	40	50	60	70	90
1.35mm/min	7.3	4.5	2.8	—	—	—
5.45	7.8	5.5	3.5	0.6	—	—
21.8	8.4	5.9	4.6	1.4	0	—
88.2	8.8	6.2	5.2	2.0	0	0

Table III. Elongation, e_b (%).

Temperature Load rate	21°C	40	50	60	70	90	120
1.35mm/min	7	205	303	—	—	—	—
5.45	7	7	425	500	—	—	—
21.8	7	7	340	475	>580	—	—
88.2	6	7	7	425	>560	>590	355

度効果8.6%, そのほか1.4%であった。

降伏応力 σ_s としては σ - ϵ 図の漸近線の intercept stress を採用した。直交2方向についての σ_b , σ_s および伸び e_b などの異方性はわずか認められるが、深絞りおよび張出成形の実験結果と考え合わせ、実用上問題にはならない。

2 流動性試験

Fig. 1 に示すように、この材料は56°Cにおいて軟化開始、80°Cにおいて軟化停留、さらに180°Cにおいて流動が始まる。

Fig. 1. The flow and softening properties of PVC sheet specimen measured by the Kōka-type flow tester.

3 エリクセン試験

Fig. 2 に示すように JIS B 7729 に基づく形状、寸法の試験用工具に加熱装置を組み込み、ポンチ速度 0.1mm/sec, 板押え力713kgによって張出成形を行ない、ポンチ荷重の最高値に対応するポンチストロークをこの場合のエリクセン値とする。実験結果は Fig. 3 に示すようになり、25°Cでは流れ変形が認められず、球形ポンチの張出しによりブランクは粉砕する。50°Cでは軟化が充分でないため、エリクセン値はわずかであるが、約60°C以上となると、フランジ部の半径絞り変形による外径減少も認められるようになり、張出成形と絞り成形とが複合した形式に移行する。80°Cにおける結果は絞り成形が相当程度進行し、ポンチ先端部の温度低下のため、ダイス肩部において破断が生ずる。板押え力を増加し、ブランクのフランジ部の拘束を高めることによって張出成形のみとすることはできるが、ポンチが金型であるため変形が一樣にならない。従って、この種材料に対しては剛体ポンチによるエリクセン試験は張出性の判定には適当でなく、むしろ流体によって等2軸引張りを与える球面バルジ張出試験が適

Fig. 2. The Erichsen test apparatus provided with heating unit.

Fig. 3. The effect of forming temperature on the Erichsen value.

合するものと考えられる。

4 円錐ダイスによる深絞り

金属薄板に関する福井式コンカルカップテスト仕様による実験結果では、いずれもしわの発生のため、コンカルカップ値の比較が困難であったため、ポンチ直径 $d_p=29.66\text{mm}$ 、ダイス直径 $d_d=32.00\text{mm}$ 、ポンチ角半径 $r_p=3\text{mm}$ 、円錐半角 30° の円錐形ダイスによる平底円筒深絞り成形を行ない、深絞り性の比較を行なった。絞り速度は 4.6mm/min 、型工具は所定温度に加熱昇温した大豆油中に浸漬し、5分間保持した後、成形を開始した。Fig. 4 は各成形温度における円錐形ダイス絞りの限界絞り比を示す。

Fig. 4. The comparison between the approximately calculated and the experimented forming limits represented by the limiting drawing ratio in conical die drawing. (D_0 , d_p : diameter of a blank and a punch, respectively).

いま、 D_0 をブランク直径、 t_0 をはじめのブランク板厚、 r_d をダイス角半径として、最大ポンチ力を与える $P_{\max}=3(\sigma_b+\sigma_s)(D_0-d_d-r_d)t_0=\pi d_p t_0 \sigma_p$ の条件から、限界絞り比 $(D_0/d_p)_{\lim}$ を求め、引張試験結果から σ_b 、 σ_s などをこのときの絞り速度に対応する引張速度のときの値としてとり、各温度について限界絞り比を近似計算すると、Fig. 4 中の実線で示すようになり、実験結果とよく符合する。また、福井らによる全ひずみ塑性理論に基づく解析を行ない、半径方向最大応力が引張強度に達したとき破断するとして、この場合の破断限界を計算すると Fig. 5 に示すようにそれぞれの絞り比に対して成功絞りが見られる適正温度範囲の存在することがわかり、これら上、下限曲線の交点におけるブランク径がこの材料の推定最高成形限度を与えるこ

Fig. 5. The forming limits with respect to the temperature and the blank diameter calculated due to plasticity theory.

Fig. 6. A typical example of drawn cup of PVC sheet using a conical formed drawing die. ($D_0=80\text{mm}$, $T=57^\circ\text{C}$, $D_0/d_p=80/29.66=2.7$, $t_0=1.03\text{mm}$).

とになる。ただし、引張試験結果のみによるこの解析結果は Fig. 4 と照合すると、だいぶんらい近似であるため Fig. 5 から得られた最高成形限度の精度は充分でない。Fig. 6 に円錐形ダイスによって円板ブランクから深絞りによって成形した円筒成品の例を示した。

5 しわ押え付平面ダイスによる円筒深絞り

Fig. 7 に示すようなばね式しわ押え付平面ダイスに加熱装置を組み込み、絞り速度 88mm/min で円筒深絞りを行なった。図において、①ポンチ、②しわ押え、③ブランク、④ダイス、⑤加熱装置、⑥熱電対、⑦しわ押え用ばね ($C_s=1.7\text{kg/mm}$) である。

$D_0=90\text{mm}$ のときの絞り温度としわ押え力との関係を Fig. 8 に示した。この結果から、しわ押え力を 30kg にとったときの絞り温度と限界絞り比の関係を実験した結果が Fig. 9 である。円錐ダイス絞りの場合と同様 $P_{\max}=\pi d_p t_0 \sigma_b$ として計算すると Fig. 9 の実線で示すようになり、実験結果とよく符合する。

この場合には限界絞り比が 6.25 程度までの実験範囲

Fig. 7. The deep drawing sub-press unit provided with heater.

Fig. 8. The optimum forming range with respect to the blank holding pressure and the temperature of blank in flat die drawing. ($D_0=90\text{mm}$, $d_p=20\text{mm}$, $t_0=1.03\text{mm}$).

Fig. 9. The limiting drawing ratio with respect to the temperatures of a blank in a flat die drawing of PVC sheet. (blank holding pressure $=30\text{kg}$, $d_p=16\text{mm}$, $t_0=1.03\text{mm}$).

で絞り成形が可能であった。室温におけるアルミニウム板材の同じ絞り型による限界絞り比が2.2程度であったことと比較するときわめて高い加工度の成形が比較的容易に達成できることがわかるが、成品の円筒部分の強加工による異方性が著しく、わずかな内圧または外圧によって軸方向にき裂を生じやすいこと、および素材板の板厚精度が充分でないため、高い加工度における安定な成形条件および成品精度の得られないことなど改善すべき点が少なくない。また、さきに著者の一人が金属板について行なった高温深絞り法の適用によって、さらに深絞り性の改善される可能性についても1部実験を行なったが、この結果はほかにゆずりたない。

6 む す び

熱可塑性樹脂の二次成形として、在来の真空成形法および吹き込み成形法の特長はすでに明らかにされているが、これらの加工法の短所を補う成形法として、金属薄板の成形加工に利用されている手法、特に深絞り成形法についての基礎的資料を明らかにした。著者らはこのほか、曲げ加工、フランジ成形および張出成形などおよびこれらの複合成形についても金属板の成形手法を適用する際の作業条件を求め、実施の可能性を検討したいと考えている。ここに報告したものはまだきわめて序報的な実験結果であるが、これが金属とプラスチックの両分野の技術交流の助けともなれば望外の幸せである。終りに試験材料を提供された日本ゼオン株式会社中央研究所に感謝する。

(昭和38年9月26日、第12回レオロジー討論会にて講演)

参 考 文 献

- 1) Ito, K., Proc. 3rd U.S. National Congress of Appl. Mech., p. 1498 (1960-12).
- 2) 井上威恭, 大島泰毅, 鈴木明光, 塑性と加工, **2**, 10, 727 (1961).
- 3) 福井伸二, 由利裕三, 吉田清太, 東大理工研報告, **8**, 4, 179 (1954).
- 4) 宮川松男, 機械学会誌, **62**, 713 (1959-5).