

型内押込みヒンジ成形によるヒンジ特性改善効果

Improvement of Folding Endurance of Molded Hinge Parts by Actuating the Movable Pin in a Mold

横井秀俊*・金松俊宏**

Hidetoshi YOKOI and Toshihiro KANEMATSU

1. はじめに

プラスチックの射出成形では、通常キャビティ内の樹脂の流動または圧力の制御は、金型キャビティから最も遠いスクリュの変位、圧力等により行われている。それに対して著者らは、その流動、圧力をキャビティ内で直接制御する方法を提案し、これまでアクチュエータ内蔵の金型による成形実験を実際に試み、この方法が成形品のひけ、そり、流動性の改善、薄肉成形の可能性をもたらすことを確認してきた^{1)~3)}。本報告では、0.2mm以下の薄肉成形の可能性を見出した研究成果³⁾に基づき、新たにヒンジ成形性能改善への適用を試みた。その結果、従来ヒンジ部への使用が困難であったエンジニアリングプラスチックについて、ヒンジ性能の大幅な改善効果を確認するとともに、その改善効果の原因を探り出すことができたので以下にその概要を報告する。

2. 可動コマによる型内押込みヒンジ成形

ヒンジ成形にはヒンジ部のみ薄肉のキャビティが用いられる。一般に薄肉ほど分子配向によるヒンジ特性が向上する反面、ウェルド等の流動欠陥が生成しやすいため、成形条件、形状因子等の検討が行われてきた^{4),5)}。一方で成形後の折曲げや、圧延・コイニングによるヒンジ成形も顕著な特性向上効果を有するが、工程増に課題を残す。

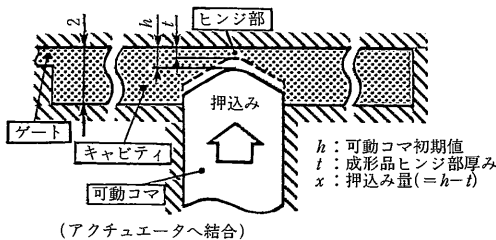


図1 可動コマ押込みによる型内ヒンジ成形の概略

*東京大学生産技術研究所

**株式会社リコー (元受託研究員)

こうした課題を克服する方法が可動コマによる型内押込みヒンジ成形である(図1)。すなわち樹脂の流動中は開いていたヒンジ部可動コマを、流動終期または流動停止後に押込み、ヒンジ部を形成するものである。これより、熔融状態から固化過程に入った樹脂が可動コマにてコマ側方に排除され、通常不可能なレベルの薄肉を達成すると同時に、この部位のヒンジ特性を高める効果が期待される。(本手法はすでに公知技術でありながら⁶⁾、その適用効果はほとんど明らかにされていない。)

3. 実験方法

電気-油圧サーボ弁式の小型アクチュエータを内蔵させた金型(図2)⁷⁾を用い、70×15×2mmの矩形キャビティ中央部に図3の可動コマを設けた。成形材料は、ヒンジ部には一般に用いられないポリアセタール(POM: ポリプラスチック⁸⁾, M270-44)と、自動車のコネクタ等に使用されヒンジ特性に課題を残すポリブチレンテレフタレート(PBT: 三菱化成⁹⁾, 5010R3)を用いた。表1におおのの成形条件を、図4に押込みシーケンスを掲げる。以下では表1を標準条件とし、当該条件のみを変化させてその影響を調査した。引張り試験機は万能

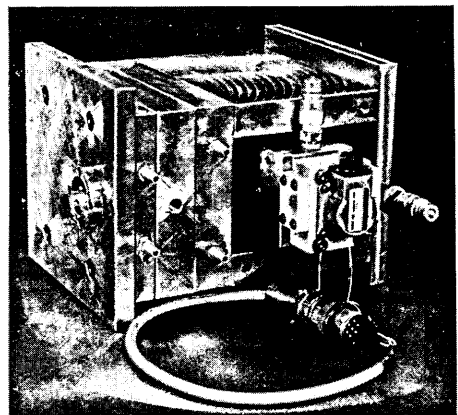


図2 アクチュエータ内蔵金型の外観

研究速報

表1 成形条件

| 成形条件 | POM(M270-44) | PBT(5010R3) |
|-----------------|------------------|------------------|
| 金型温度(°C) | 80 | |
| シリンダ温度(°C) | 200 | 230 |
| 射出率(cm³/s) | 3.1 | |
| ヒンジ部厚み t (mm) | 0.1~1.0 | 0.2~1.0 |
| 押込み量 x (mm) | 0, 0.4, 0.6, 2.0 | 0, 0.6, 1.5, 2.0 |
| コマ押込み圧力(MPa) | 250 | |

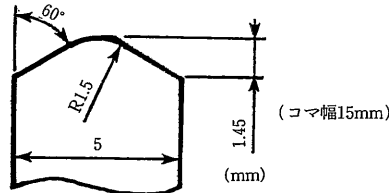


図3 可動コマ先端形状

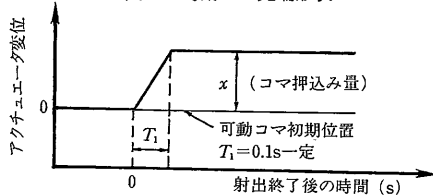


図4 可動コマの押込みパターン

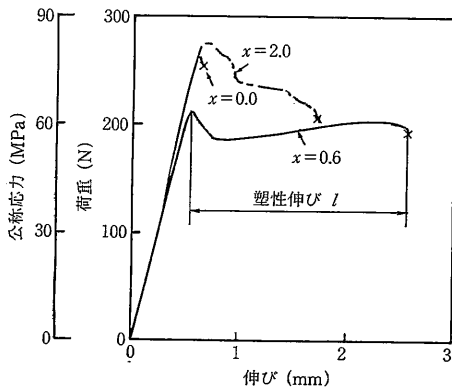


図5 引張り試験による荷重と伸びの関係 (POM, $t=0.2$)

引張り試験機(インテスコ機, 100kgf)を用い 2 mm/min の速度にて計測し, また折曲げ特性はMIT型折曲げ試験機(日本石油化学製機)を用い, 折曲げ角度 $\pm 75^\circ$, 引張り荷重9.8N, 毎分250回にて試験した。成形品ヒンジ部の断面は偏光顕微鏡にて観察を行った。

4. ヒンジ部特性の評価

4.1 引張り試験

POM成形品のヒンジ部伸び特性を調べるために, 長手

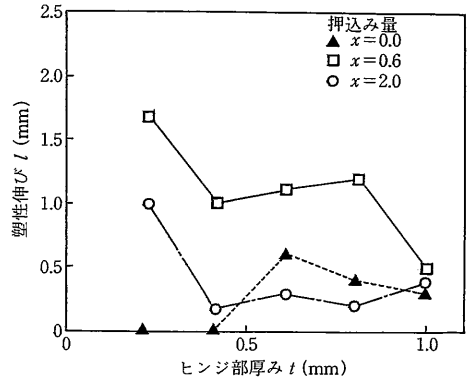


図6 ヒンジ部厚みと塑性伸びの関係 (POM)

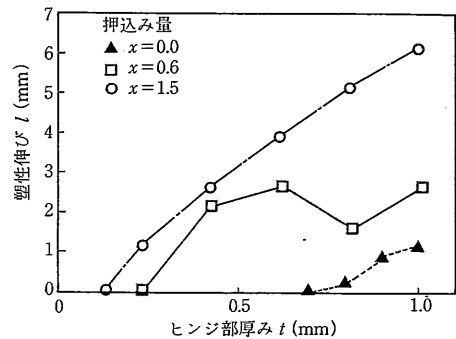


図7 ヒンジ部厚みと塑性伸びの関係 (PBT)

方向引張り試験を行った。ヒンジ部厚み t (mm) を $t=0.2$ 一定, コマ押込み量 x (mm) をおのおの $x=0.0, 0.6, 2.0$ としたときの荷重-伸び曲線図を図5に示す。最大荷重点(すなわち降伏点荷重)に差異があるものの, むしろその後破断に至るまでの伸び l に顕著な差が認められる。こうした傾向はPBTにおいても全く同様となった。そこで塑性変形伸び量 l とヒンジ厚み t , 押込み量 x との関係を調査し, 図6 (POM), 図7 (PBT) におおの図示した。POMでは押込み無し ($x=0$, 以下通常成形) が, $t=0.4$ 以下の領域で全く塑性伸びを示さず, また一般に t が小さいほど押込みによる伸び量 l が増加する右下がり傾向を示す。一方PBTでは, 押込みの有無にかかわらず t とともに l も増大する右上がりの曲線となる。PBTの降伏応力が $t=0.5$ 以下で t の減少とともに上昇することから, PBTでは薄肉ほど高い分子配向となることが確認されている。

4.2 折曲げ試験

図8は $x=0.0, 0.4, 2.0$ におけるPOMヒンジ部厚さ t と折曲げ回数 N の関係を, 図9は $t=0.4$ における x と N の関係を示す。通常成形では $t=0.2$ が本実験の薄肉成形限界であったが, ここでは押込み成形により $t=70\mu\text{m}$ が達

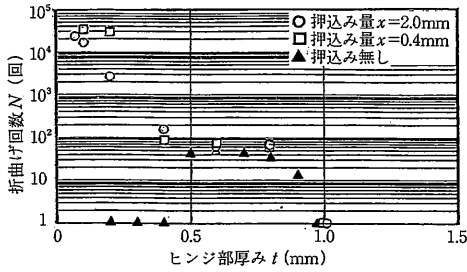


図8 ヒンジ部厚みと折曲げ強度の関係 (POM)

成されている。通常成形の $t=0.4$ 以下では一回で破断する薄肉領域でも、 $x=0.4, 2.0$ とコマを押込むことで、 t が小さいほど N は著しく増大し $N=3$ 万回以上に到達する。 $t=0.5$ 以上の領域では押込み有無による差はほとんど認められなくなり、 $t=1.0$ で x によらず $N=1$ で破断するようになる。図9に示されるように、押込み量はわずか $x=0.2$ でも効果が現れるが、それ以後は顕著な変化が期待されない。次に各 N におけるヒンジ部断面変化の様子を図10に示す。通常成形では、すでに $N=10$ で折曲げ箇所ネッキングが生じ、 $N=50$ での亀裂生成に引き続き破断に至る。 $x=0.6$ の押込み成形では、表面に白化(クレーズ)が生じるが、断面形状はほとんど変化しないまま $N=5000$ まで至り、1万回以上折曲げ時点で疲労破壊を起こす。

PBTでは、通常成形での最小ヒンジ厚さは $t=0.61$ であったが、コマを押込むことにより $t=0.1$ の薄肉成形が達成される。通常成形のヒンジ特性は、 $t=0.7$ までの範囲で $N=1$ で破断、 0.7 以上では1万回以上の特性を有するものの引張り強度は低い。一方、押込み成形では、 $t=$

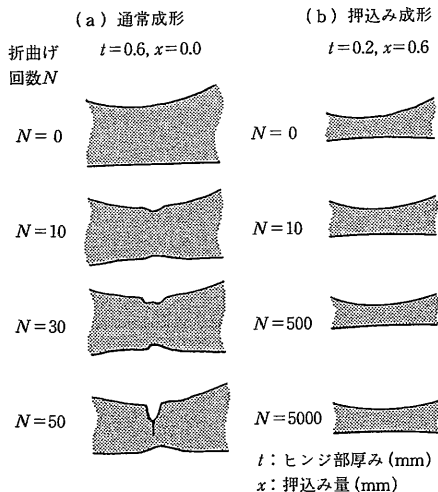


図10 折曲げ回数 N にもなるヒンジ部断面形状の変化 (POM)

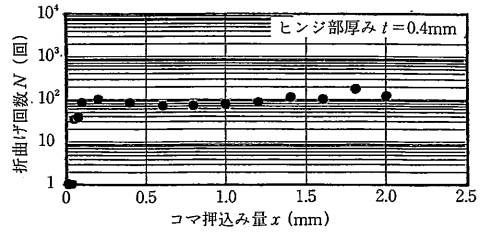


図9 コマ押込み量と折曲げ強度の関係 (POM)

0.4以下でPOM同様のネッキングを生成するものの、表面割れはほとんど伴わないため $t=0.1$ から 1.0 までの広い範囲で数万から30万回以上のヒンジ特性を示した。次に各 N におけるヒンジ部断面の変化の様子を図11に掲げる。通常成形では、すでに $N=10$ で表面に亀裂が生じ始め、 $N=5000$ にて板厚中央部が約 0.2mm 厚フィルム状態となって残留する。一方 $x=1.5$ の押込み成形では、 $N=10$ で材料がネッキング状に盛り上がり、ネッキング過程で分子配向が高められたヒンジ部は、以後何十万回にいたるまでほぼ弾性範囲での折曲げ変形が繰り返される。薄肉成形 ($t=0.2$) の場合には $N=5000$ にて表面部に一部クラックの生成が認められた。

5. ヒンジ特性改善機構の考察

コマ押込み成形法にてこのようにヒンジ特性の大幅向上が達成される原因として、折曲げ試験初期に亀裂を生成させず、局所的な塑性変形(ネッキング)を起こさせ得る材料変形能の改善効果が示唆される。こうした変形能がなぜ発現するかを明らかにする目的で、ヒンジ部断面を偏光顕微鏡にて観察した。図12、図13にPOM、

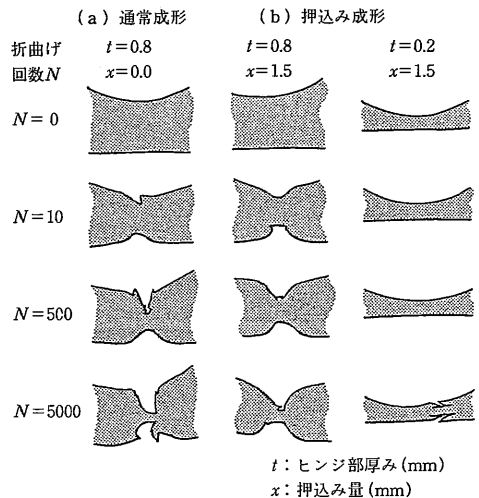


図11 折曲げ回数 N にもなるヒンジ部断面形状の変化 (PBT)

研究速報

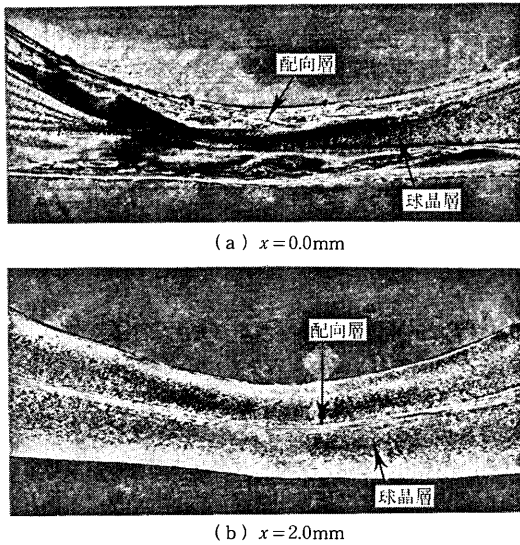


図12 ヒンジ部断面の偏光顕微鏡写真 (POM, t=0.2mm)

PBTの押込み有無によるヒンジ部組織の比較結果を掲げる。

通常成形(a)では、樹脂流れが狭路を経て右方向に拡散流となる過程で、スキン層下部の配向層が波状にうねっている様子が観察される。この不安定流れは、配向層での激しい摺りせん断流れを象徴するもので、この部位の流動方向分子配向の高さを物語るとともに、中心部の球晶層と配向層との境界領域での強いダメージ残留を推測させる。図11のN=5000回の亀裂形状は、この境界層に沿ったものとみなされる。一方押込み成形(b)では、うねり状の配向層は消失し、大半が結晶化度の大きい球晶層に覆われている。押込み過程で最も流動しやすい板厚中心部樹脂は、コマの外方向に押出されるため、配向層が逆に板厚中心部に生成する極めて特異な組織を形成する。塑性変形能の向上は、明らかにこうした球晶層の出現に負うところが大きいと考えられよう。

スキン層直下の配向層が球晶層に置き換わる機構解明については、今後の詳細な実験を待たねばならない。恐らく、コマ開き状態での流動過程で生成する通常の低い配向層と球晶層が、押込み過程でヒンジ部に移動して残留したものと推定される。

6. ま と め

(1)アクチュエータ内蔵金型によるコマ押込みヒンジ成形を試み、POM, PBTの通常成形限界(おのおの0.2mm, 0.6mm)を大幅に下回る0.07mm, 0.1mmの薄肉ヒンジ成形が可能となることを示した。

(2)型内押込み成形により、通常成形では1回で破断す

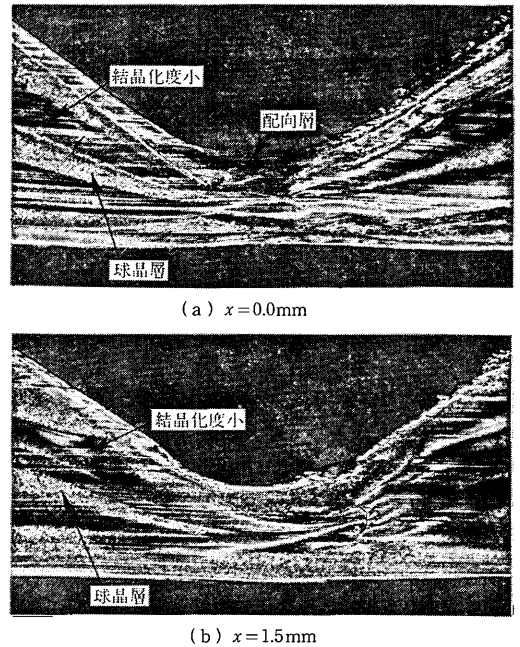


図13 ヒンジ部断面の偏光顕微鏡写真 (PBT, t=0.61mm)

るPOM(ヒンジ厚さ $t < 0.4\text{mm}$), PBT($t < 0.7\text{mm}$)ヒンジ特性を、同領域でおのおの3万回, 30万回以上へと大幅に改善できることを明らかにした。

(3)ヒンジ特性は、ヒンジ部樹脂の塑性変形能により大きく影響され、押込み成形によるその変形能向上はヒンジ部配向層の消失と球晶層の拡大であることを示した。

おわりに、卒業研究として本実験に全面的にご協力いただいた元東海大学学生、近藤俊也君にお礼を申し上げます。また本研究遂行に御助力を賜った古河電気工業(株)山田浩之氏、竹内浄氏の両氏、日本石油化学(株)天野修氏、宇都木史朗氏、ポリプラスチック(株)中村俊明氏、(株)不二越、カルプ工業(株)に厚く感謝の意を表します。

(1990年4月9日受理)

参 考 文 献

- 1) 横井, 島谷ほか: 昭63精密工学会秋論文集, (1988) 231.
- 2) 横井, 島谷ほか: 昭63精密工学会春論文集, (1989) 987.
- 3) 横井, 金松ほか: 1989年精密工学会秋論文集, (1989) 715.
- 4) H. Schmidt: PLAST verarbeiter, 34-9 (1983) 774.
- 5) H. Weissmantel et al: Feinwerktech Messtech, 93-2 (1985) 89.
- 6) たとえば特開昭48-22172