

京都工芸繊維大学工芸学部

大学院

繊維学部

繊維学部

大阪市立工業研究所

正 岩本正治

学 ○鶴飼淳行

正 前川善一朗

正 濱田泰以

泊 清隆

1. 緒言

種々の工業用部品として需要が高まりつつある熱可塑性プラスチックの射出成形品は、その製造過程において形成されるウエルドライン部で強度が著しく低下し、そこからの破壊が問題となっている。これまでに、ウエルドライン部での強度低下の原因は、融着不良や分子配向の平行化、ウエルドライン表面部に生じる密閉された空気や不純物が集まる領域などにおいて応力集中が起きるためであり⁽¹⁾、この応力集中源は試験片幅に対して約3%程度の微小なクサビ状のものであることなどが明かにされてきた⁽²⁾。

本研究では、電気的性質、光安定生や耐候性等が優れ、代表的な熱可塑性樹脂であるポリスチレン(PS)の射出によって形成された試験片を用い、ウエルドライン部での破壊に対して支配的であるこのクサビ状の応力集中源(以下、V-ノッチと呼ぶ⁽³⁾)をき裂に置換えて、ウエルドライン強度について、破壊力学的な観点から検討、考察する。

2. 実験試料および実験方法

供試材は、スチロール樹脂(三菱モンサント化成株式会社)を射出成形したもので、2点ゲートでウエルドラインを故意に形成させたもの(Weld試験片)と比較のためウエルドラインのないもの(Non-weld試験片)を成形した。成形条件はシリンダ温度180°C、金型温度40°C、射出圧力610kgf/cm²、保圧915kgf/cm²、射出時間12秒である。試験片形状と寸法は図1に示す。Non-weld試験片のき裂は、試験片の両側にファインカットで入れた後、その先端にかみそり刃により約1mmの深さまで入れた。Weld試験片は、き裂がウエルドライン上に来るようにまず、ファインカットで両側に入れた後、か

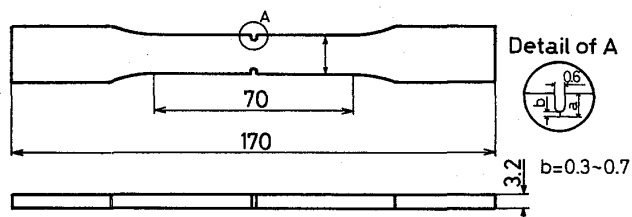


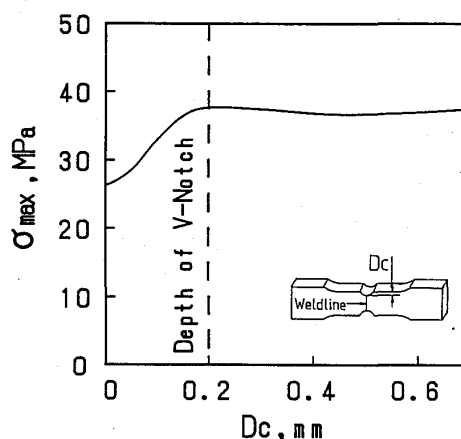
図1 試験片形状と寸法

みそり刃を用いて約0.5mmの深さまで入れた。き裂の深さ a は試験片幅 W に対して、およそ $2a/W=0.1\sim0.45$ まで変化させた。

実験は島津オートグラフIS-10Tを用い、クロスヘッド速度1.0mm/min、試験温度 $20\pm2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60\pm5\%\text{RH}$ の条件下で静的引張試験を行い、破断荷重 P_{\max} を求めた。

3. 実験結果および考察

引張強度 σ_{\max} と切削量(D_c)との関係を図2に示す⁽²⁾。ここで、切削量(D_c)とは、図中下部に示されているようにウエルドライン表面上に形成されたV-ノッチのうち試験片の厚さ方向にあるV-ノッチをすべて切削して(本成形条件下の場合:片面0.5mm)、この方向でのV-ノッチの影響を削除した幅方向のみのV-ノッチ深さ v を切削変化させた量である。一般に、 v 値は成形条件によって変化するが、この図から D_c は0.2mm以上で一定値となるため、本成形条件では v 値は約0.2mmであると考えられる。

図2 σ_{\max} と D_c の関係

このようなウエルドライン部の外周のV-ノッチをき裂に置換えて、ウエルドライン強度を破壊力学的な観点から検討する。

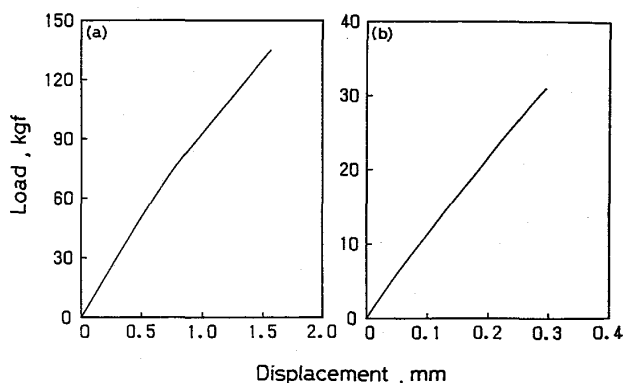
図3(a),(b)は、それぞれNon-weldとWeldのき裂有り試験片の荷重-変位曲線の一例である。いずれも負荷時から破断時までほぼ線形を示し、ぜい性破壊していることがわかる。これより、種々のき裂深さ a で得られた破断荷重 P_{\max} から限界応力拡大係数 K_c を算出

するとき次式⁽⁴⁾を用いた。

$$K_c = (P_{\max} a^{1/2} / B'W) F_1 \quad (1)$$

$$F_1 = 1.98 + 0.36(2a/W) - 2.12(2a/W)^2 + 3.42(2a/W)^3$$

ここで、Weld試験片の場合、上述したようにV-ノッチは、ウエルドライン部の外周に存在するため、試験片の厚さ方向にあるV-ノッチを板厚補正することにより考慮した。すなわち、このV-ノッチをV溝と見なし、V溝を有する場合の板厚 B' は B_n を実断面板厚とすると $B' = \sqrt{BB_n}$ とおくこと⁽⁵⁾ができ、本実験では、 B_n は、上述した $v = 0.2\text{mm}$ を用いて、 $(B-0.4)\text{mm}$ とした。



(a) Non-weld試験片 (b) Weld試験片

図3 荷重-変位曲線

式(1)より求めた Non-weldとWeldの試験片の破壊じん性 K_c と相対き裂深さ $2a/W$ の関係をそれぞれ図4に示す。この図から、両試験片とも $2a/W$ に関係なく K_c はほぼ一定であることがわかる。従って、何れの K_c も平面ひずみ破壊じん性 K_{Ic} であり、これらの値を平均値で図中に示す。また、両者の K_{Ic} を比較するとWeld試験片の $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ はNon-weld試験片の $(K_{Ic})_{\text{Non-weld}}$ に対しておよそ78%低下している。

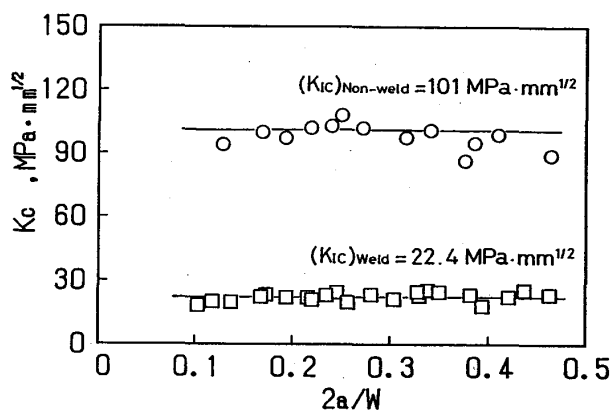


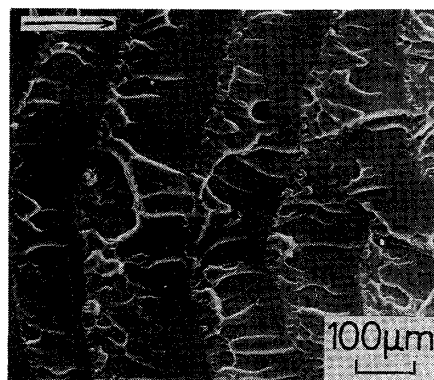
図4 K_c と $2a/W$ の関係

一方、式(1)よりき裂有りWeld試験片の引張強度 $(\sigma_{\max})^*_{\text{Weld}}$ は次式で表される。

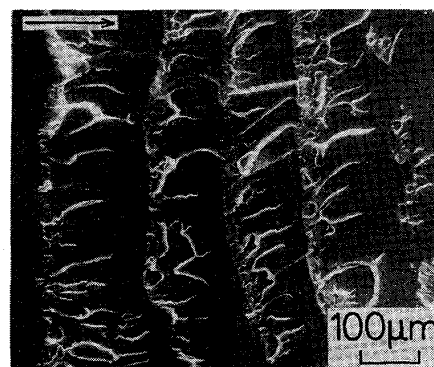
$$(\sigma_{\max})^*_{\text{Weld}} = (K_{Ic})_{\text{Weld}} / a^{1/2} F_1 \quad (2)$$

この式より求めた $2a/W = 0.031$ の時の $(\sigma_{\max})^*_{\text{Weld}}$ は約25.2MPaであり、また、図2より得られたウエルドライン強度 $(\sigma_{\max})_{\text{Weld}}$ は約26.2MPaであった。両者の値は比較的良好一致していることから、ウエルドライン部に存在するV-ノッチをき裂と見なす破壊力学的評価が可能であると思われる。

図5(a), (b)はそれぞれWeld試験片のV-ノッチ先端近傍とき裂先端近傍の破面を示す。同様の破面を呈していることから、破壊の形態は同じであり、破面からもV-ノッチをき裂として取扱えるものと思われる。



(a) V-ノッチ先端近傍



(b) き裂先端近傍

図5 Weld試験片のV-ノッチおよびき裂先端近傍の破面

以上のことより、V-ノッチはき裂として取り扱えることがわかった。そこで、式(2)において、 $(\sigma_{\max})_{\text{Weld}}$ を $(\sigma_{\max})_{\text{Weld}}$ にまた、 a を v に置換えて、すでに報告⁽²⁾されている射出圧力(○:41.9, △:59.8MPa)と保圧を変化させた図6と図7から $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ を算出する。その結果を図8に示す。この図から、 $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ は図6と異なり、いずれの射出圧力においても保圧の変化に関係なく一定値であることがわかる。また、図4の図中の $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ 値とほぼ同じ値であることから、 $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ は約0.22 $(K_{Ic})_{\text{Non-weld}}$ 値で表される。このことは、本試験における射出圧力と保圧の変化範囲内の成形条件下では式(2)より、Non-weld試験片での破壊じん性と v 値からウエルドライン強度を求めることができることを示している。

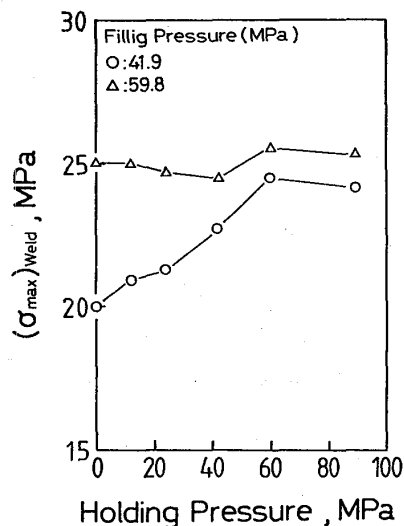


図6 射出圧力変化における $(\sigma_{\max})_{\text{Weld}}$ と保圧の関係

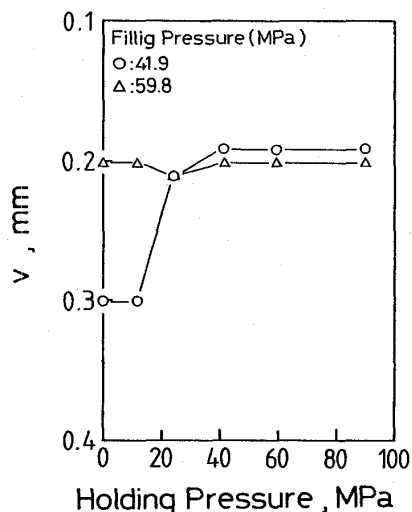


図7 射出圧力変化における v 値と保圧の関係

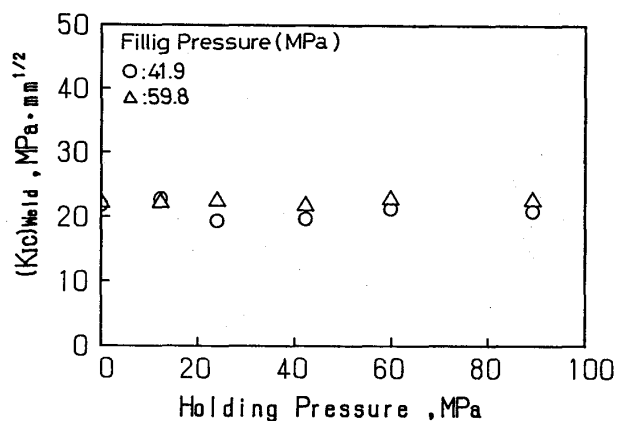


図8 射出圧力変化における $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ と保圧の関係

5. 結言

ポリスチレンの射出によって成形された試験片を用い、ウエルドライン部での破壊に対して支配的であるV-ノッチをき裂に置換えて、ウエルドライン強度について、破壊力学的な観点から検討、考察した結果以下の結論を得た。

(1) き裂を有するWeld試験片により求めた $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ は相対き裂深さに関係なく一定値を示し、平面ひずみ状態での破壊じん性 $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ であることがわかった。

(2) この $(K_{Ic})_{\text{Weld}}$ より求めたV-ノッチ深さと等価なき裂を有するWeld試験片のウエルドライン強度は、き裂無しのWeld試験片の σ_{\max} とよく一致し、V-ノッチをき裂として評価できることがわかった。

(3) 本試験における射出圧力と保圧の変化範囲内の成形条件下では、次式よりウエルドライン強度が求められる。

$$(\sigma_{\max})_{\text{Weld}} = 0.22(K_{Ic})_{\text{Non-weld}} / a^{1/2} F_1$$

参考文献

- (1) P. Hubbauer, Injection Molding for Quality, 69 (1973).
- (2) 泊・他4名, 第37回高分子学会年次大会予行集, Vol. 37, No. 4, 1222 (1988).
- (3) R. M. Crieens, Failure of Plastics, 417 (1987).
- (4) W. F. Brown and J. E. Srawley, Plane Strain Crack Toughness Testing of High Strength Metallic Materials, ASTM, STP 410, 11 (1966).
- (5) F. A. Johnson and J. C. Radon, Eng. Frac. Mech., 4, 559 (1972).