

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560133

研究課題名(和文)プラスチック射出成形におけるバリ発生評価金型の開発

研究課題名(英文)Development of a Mold for Flash Generation Measurement

研究代表者

村田 泰彦(Murata, Yasuhiko)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：00200303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：プラスチック射出成形品において発生するバリは、製品品質の低下を招くために問題となっている。本研究では、バリの発生しやすさを評価することが可能なバリ発生評価金型を設計・製作した。そして、本金型を用いて、各種樹脂や成形条件、金型分割面の隙間量を変化させた場合におけるバリ発生状況の計測を行った。その結果、樹脂の種類に関わらず、隙間量と保持圧力の増加に伴い、バリ長さが増加すること、また、隙間の生成開始時間が遅れるほど、バリ長さが減少することを明らかにし、バリの発生し難い最適成形条件や金型の設計、樹脂の開発を行うために有効な指針となる、バリの発生機構を提示することができた。

研究成果の概要(英文)：Flash is a defect that occurs in injection molding. In this study, the flash generation measurement mold was proposed to evaluate the secondary flash generation mechanism. This mold can open the gap of arbitrary size between the mold parting faces at certain times during injection molding. Using this mold, flash generation behavior was investigated at various gap sizes between the mold parting faces and melt pressure. As a result, it was clarified that the secondary flash began to be generated immediately after the gap reached a constant size and that the secondary flash length decreased as the timing was delayed for gap opening.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、生産工学・加工学

キーワード：プラスチック 射出成形 金型 計測 バリ

1. 研究開始当初の背景

射出成形品において発生するバリ¹⁾は、製品外観を阻害し品質の低下を招く。そのため、バリを除去するための後加工が必要となり、生産効率の低下や、無駄な生産コストがもたらされる。また、金型分割面やスライドコアなどの部品同士の間にはバリの欠片が残ると、勘合や摺動などに支障をもたらす、金型の破損や消耗につながるために、生産現場において深刻な問題となっている。バリの発生形態の一つとして、金型構成部品の加工精度不足や、あるいは、不適切なガスベント設計などにより、必要以上に生じた隙間に熔融樹脂が流れ込んで発生する一次バリがある^{2),3)}。一方、もう一つのバリの発生形態として、保圧工程などにおいて高い樹脂圧力を受けて金型が変形して、金型分割面や構成部品の合わせ面に隙間が生じ、そこに樹脂が無理やり押し込まれて発生する二次バリがある^{2),3)}。

著者らは、スライドコア構造金型で発生するバリを研究対象として、金型にひずみセンサを設置して、バリ発生と金型変形との相関関係の検討を行ってきた。その結果、樹脂圧力を受けてスライドコアが後退して、スライドコア同士の分割面に隙間が生成し二次バリが発生するという、二次バリ発生モデルを提示した^{4),5)}。しかし、隙間が、成形中のどのタイミングで、どの程度生成した際にバリの発生が開始されるかがわからないために、二次バリ発生機構を詳細に明らかにすることができないのが実状であった。

2. 研究の目的

本研究では、まず、バリ発生の原因となる金型分割面の隙間を、成形工程中の任意のタイミングにおいて、所定の量だけ意図的に生成させることが可能で、かつ、金型キャビティ内における樹脂の圧力と温度状態を計測可能な、バリ発生評価金型を設計・製作する。そして、本金型を用いて、様々な種類の樹脂や成形条件下においてバリ発生状況の評価を行うことで、バリの発生しない最適成形条件の探索や、さらに、金型の設計、樹脂の開発を行うための指針を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

(1)バリ発生評価金型の基本構造

二次バリが生成する隙間量は、極めて小さいものと予測される。微小な隙間の開閉動作を、電動式あるいは油圧式のアクチュエータを用いて、成形途中に高精度かつ高応答で制御することは極めて困難と考えられた。そこで、本研究では、図1および図2に示す、メカニカルストッパー方式のバリ発生評価金型(長さ300mm×幅300mm×厚さ230mm)を提案した。金型可動側にくさび形状の可動ブロックが設置されている。可動ブロックの後方には油圧シリンダが設置されている。一方、可動ブロックに対向する金型固定側には、バネ

が後方に取り付けられたプレートが設置されている。そのため、油圧シリンダのプランジャが後退すると、バネの弾性力によりプレートが金型可動側方向へと押し戻され、プレートに押されて可動ブロックが自然に後退する構造となっている。

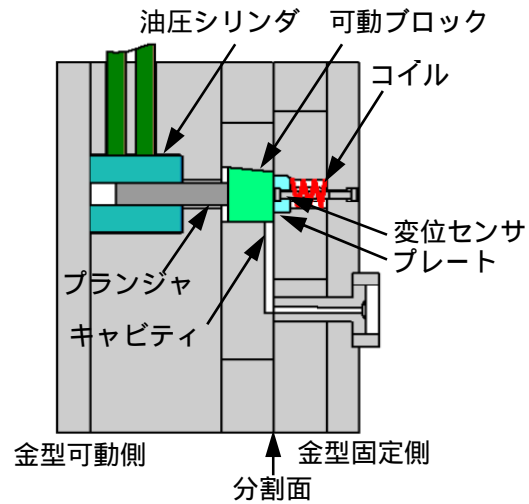


図1 バリ発生評価金型の基本構造

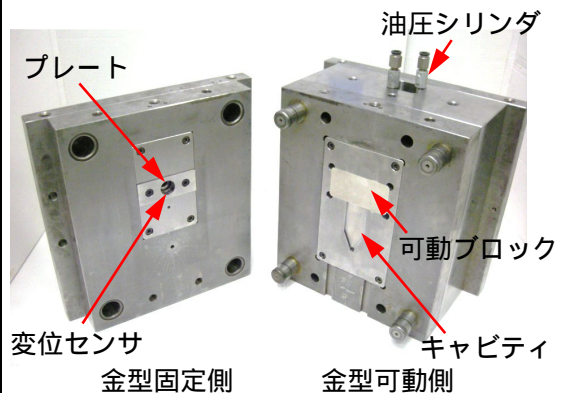


図2 バリ発生評価金型の外観

図3は、本金型の駆動方法を示している。まず、射出開始前には、油圧シリンダのプランジャを突出させて可動ブロックを前進させる。その結果、金型固定側分割面に可動ブロックが押付けられキャビティ末端部が緊密に閉止される。その後、成形工程中の任意のタイミングにおいてプランジャを後退させると、金型固定側に設置されたプレート後方のバネの弾性力により、可動ブロックが押し戻される。その結果、キャビティ末端部に隙間が生成される。ここで、隙間量の制御は、可動ブロック後部にスペーサを挿入して行う。具体的には、所定の隙間量となるように、スペーサの厚みと枚数を調節する。なお、本金型では、射出開始前からプランジャを後退させキャビティ末端部にはじめから隙間を生成させておくことで、一次バリの評価もできるようになっている。

油圧シリンダには、C-SA 9SA32B10 (堀内機械(株), シリンダ直径 18mm, 最大圧力 21MPa)

を、油圧ユニットには、YA10-B-2-0.75-41(油研工業株), 圧力調整範囲 1.2~7.0MPa)をそれぞれ使用した。なお、隙間の生成開始は、手動により行った。成形中に所定の隙間量が実際に生成されているかをモニターするために、本金型では、図1に示すように、渦電流式変位センサ(EX-110V, ㈱キーエンス)を可動ブロックに対向する部位に設置した。エンジニアリングプラスチックでは 100 以上の高い金型温度設定が必要となる。そこで、200 までの金型温度条件で使用可能な渦電流式変位センサ VS-005H-2(新川電機株)を使用した。また、金型分割面の開きを監視するために、金型上面の分割面付近にも渦電流式変位センサ(EX-110V, 同上)を設置した。さらに、キャビティ内樹脂圧力を計測するために、樹脂圧力センサ(Type6157BA, 日本キスラー株)を設置した。

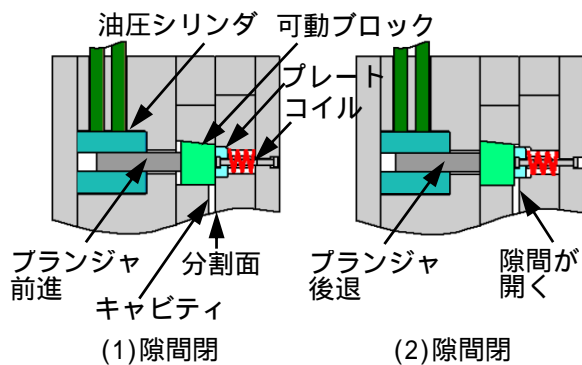


図3 バリ発生評価金型の駆動方法

(2)計測方法

図4に成形品形状を示す。成形品は厚さ2mmの矩形平板である。キャビティ末端部が可動ブロックに面しており、赤線で示した箇所にバリが発生する。バリの観察および測定は、成形品の中心軸上のA点にて行った。表1および表2に成形条件を示す。樹脂は、汎用プラスチックの中から、結晶性樹脂であるポリプロピレン PP(MA03, 日本ポリプロ株)と、非晶性樹脂である汎用ポリスチレン GPPS(CR-2500, 大日本インキ化学工業株)を用いた。また、エンジニアリングプラスチックの中から、結晶性樹脂のポリアセタール POM(M270-44, ポリプラスチック株)とポリアミド PA6(1013B, 宇部興産株)と、そして、非晶性樹脂であるポリカーボネート PC(S-2000, 三菱エンジニアリングプラスチック株)を用いた。

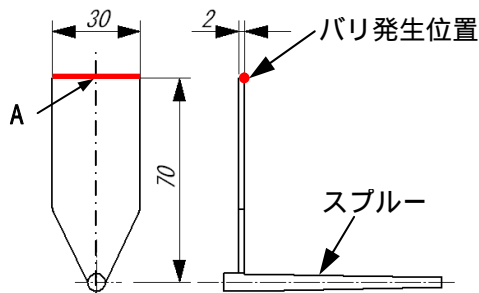


図4 成形品形状(単位: mm)

表1 汎用プラスチックの成形条件

樹脂	PP	GPPS
加熱シリンダ温度()	200/200/200/180/50 (ノズル部/計量部/圧縮部/供給部/ホッパー下)	
設定金型温度()	60	
射出率 (cm ³ /s)	26.5	
保持圧力 (MPa)	30/50/70	
保圧時間 (s)	12	
隙間量 (μm)	23/45/75/89	110/126/175/194
隙間生成開始時間 (s)	0.65-1.18	

表2 エンジニアリングプラスチックの成形条件

樹脂	POM	PA6	PC
加熱シリンダ温度()	190/190 /190/170 /60	240/240 /240/220 /50	320/320 /320/300 /80
設定金型温度()	80		120
射出率 (cm ³ /s)	26.5		
保持圧力 (MPa)	80/100/120		80/90 /100 /110/120
保圧時間 (s)	12		
隙間量 (μm)	98/137 /180	30/56/75	180/200 /220
隙間生成開始時間 (s)	0.60-4.4	0.60-10.8	0.6-1.4

本研究では、各種樹脂において保持圧力と隙間量、隙間生成開始タイミングをそれぞれ変化させて成形を行い、上記因子が成形品のバリ発生状況に及ぼす影響について検討することを目的としている。そこで、本実験では、各保持圧力と隙間量において、隙間生成開始時間をランダムに変化させながら成形品の採取とセンサ出力の記録を行い、そして、記録された変位センサと樹脂圧力センサの波形から実際に隙間生成が開始された時刻を求め、成形品のバリ発生状況との照合を行った。成形品のバリの観察とバリ長さの測定には、3D レーザ顕微鏡(VK-9700, ㈱キーエンス)を使用した。

4. 研究成果

(1)各種センサ出力の経時変化

PPを保持圧力70MPaで成形して計測された各出力の経時変化を図5に示す。本実験では、射出率や射出圧力、キャビティ内樹脂圧力、隙間量、金型分割面の型開量などをモニターしながら、隙間生成開始時間を手動で制御した。この場合は、キャビティ内樹脂圧力が最高値に達した点線で示す時点において、45μmの隙間を生成させている。金型分割面が開くことなく、キャビティ末端部に速やかに所定の隙間が生成されていることがわかる。

(2)汎用プラスチックにおけるバリ発生状況

PPにおいて、保持圧力を30MPa一定に設定して、隙間量を変化させながら得られた成形品の末端部の観察結果を図6に示す。なお、これらの場合では、すべて、キャビティ内樹脂圧力が最高値に達する、射出開始後約0.71秒経過時点で隙間を生成させている。23μmの隙間量の場合では、成形品末端部にバリの発生は見られない。一方、45μmでは、平坦

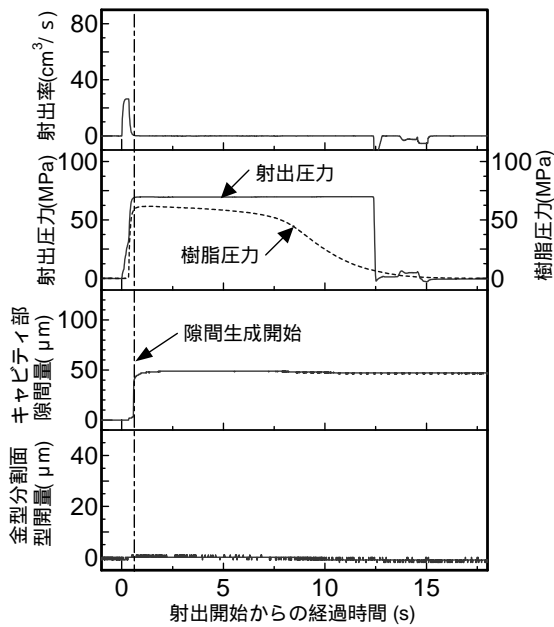


図5 各種センサ出力の経時変化 (PP, 保持圧力 70MPa, 隙間量 45 μm)

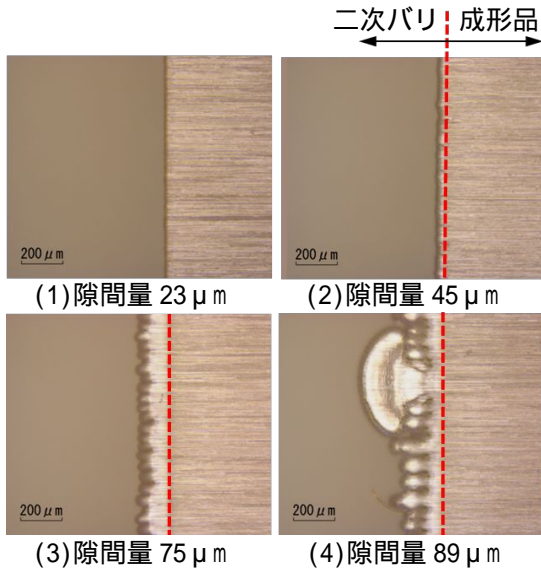


図6 PPにおける二次バリ発生観察結果 (保持圧力 30MPa, 隙間生成開始時間 0.71s)

な先端形状の二次バリがわずかに発生している。75 μm では、樹脂が流れたような痕跡をとどめた凹凸形状の二次バリの発生が見られる。さらに、89 μm では、二次バリがさらに成長し、先に発生した二次バリを後から流れてきた樹脂が突き破って、あたかも沸き出したような痕跡をとどめた二次バリの発生が見られる。

隙間量を 45 μm 一定として、保持圧力を変化させて得られた成形品の末端部の観察も行った。そして、保持圧力の増加に伴い、二次バリ発生が顕著になることを確認した。

GPPS において、PP と同様の成形を行って得られた結果を図 7 に示す。射出開始後約 0.70 秒経過時点で隙間を生成させた。110 μm の隙間量では、二次バリの発生が見られない。

隙間量の増加に伴い、二次バリが発生し出すものの、PP で見られた樹脂が流れたようなバリの発生形態は見られず、ほぼ平坦な先端形状のバリの発生が見られる。

以上のように、二次バリは、隙間量が小さい場合には発生せず、二次バリの発生には、ある程度以上の隙間量を要することが明らかとなった。また、PP と GPPS では、異なる二次バリ発生形態を示すことが明らかとなった。

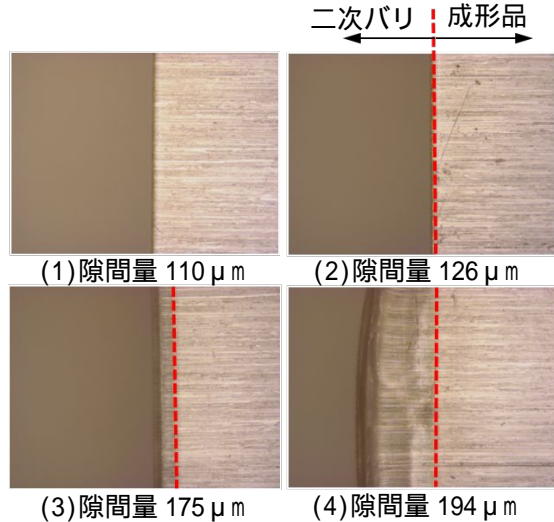


図7 GPPS における二次バリ発生観察結果 (保持圧力 70MPa, 隙間生成開始時間 0.70s)

(3) 汎用プラスチックにおける隙間量と二次バリ長さの関係

図 6、図 7 などの観察画像に基づいて、隙間量と二次バリ長さの関係を整理した結果を図 8 に示す。図 6(4) に示される大きく沸き出したバリ部を除いた、成形品末端部から二次バリの先端までの距離を、3D レーザ顕微鏡を用いて測定した。まず、PP では、隙間量の増加に伴い二次バリ長さが増加している。また、保持圧力の増加に伴い二次バリ長さが増加している。一方、GPPS では、保持圧力が 30、50MPa では隙間量を変化させてもほとんど二次バリが発生せず、70MPa となって初めて、隙間量の増加に伴い二次バリ長さが増加している。

以上のように、隙間量および保持圧力の増加に伴い二次バリ長さが増加すること、PP に比べて、GPPS の方が、二次バリの発生には大きな隙間量を要することが明らかとなった。

(4) 汎用プラスチックにおける隙間生成開始時間と二次バリ長さの関係

PP と GPPS において隙間の生成タイミングを変化させた場合の二次バリ長さを図 9 に示す。キャビティ内樹脂圧力が最高値を示す時点から、隙間の発生タイミングを段階的に遅らせていくと、PP および GPPS とともに二次バリ長さが減少している。特に、PP よりも GPPS の方が、単位時間当たりの二次バリ長さの減少量が大きいことがわかる。

以上のように、隙間の生成タイミングが、二次バリ長さに影響を及ぼすことが明らかとなった。

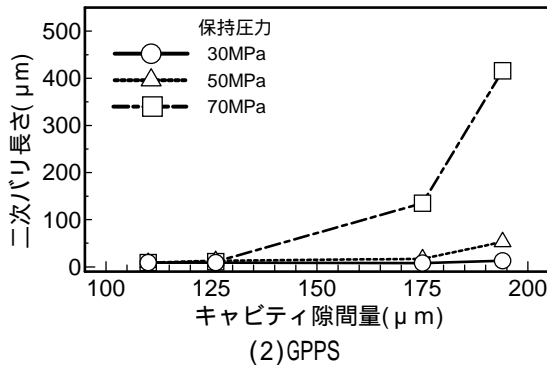
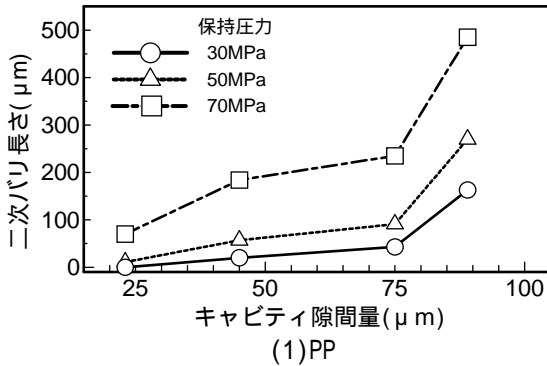


図8 汎用プラスチックにおける二次バリ長さと隙間量の関係

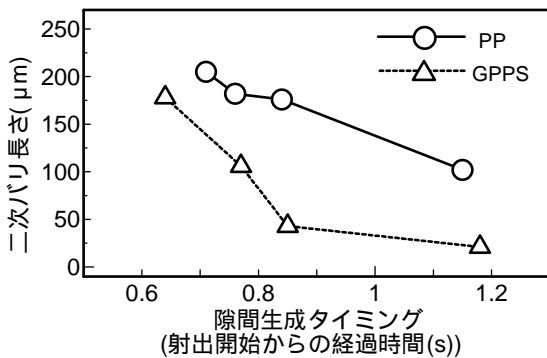


図9 汎用プラスチックにおける二次バリ長さと隙間生成時間の関係 (保持圧力 70MPa, 隙間量 PP: 45 μm, GPPS: 175 μm)

(5) エンジニアリングプラスチックにおけるバリ計測

エンジニアリングプラスチックである、POM および PA6、PC において、汎用プラスチックの PP、GPPS と同様の計測を行った。

図 10 に、POM および PA6、PC における隙間量と二次バリ長さの関係を示す。また、図 11 に隙間生成開始時間と二次バリ長さの関係を示す。3 つの樹脂ともに保持圧力が高く、また、隙間量が大きくなるほど、二次バリ長さが概ね増加している。さらに、隙間生成開始時間が遅れるほど、二次バリ長さが減少する傾向が見られる。それぞれの樹脂を比較すると、結晶性樹脂の POM と PA6 の方が、非晶

性樹脂の PC に比べて、小さな隙間量で大きな二次バリが発生している。さらに、POM より PA6 の方が小さな隙間量で二次バリが発生し、さらに、二次バリ長さも大きくなっている。

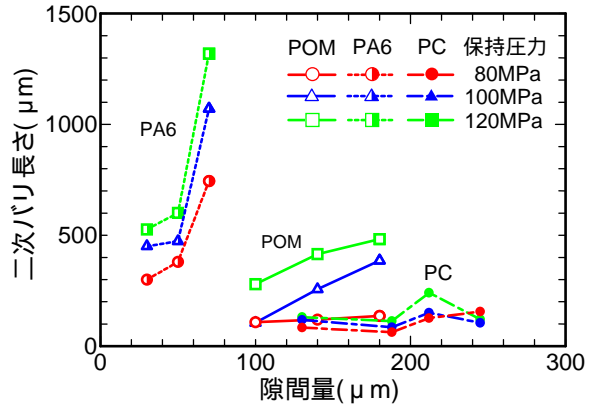


図10 エンジニアリングプラスチックにおける二次バリ長さと隙間量の関係

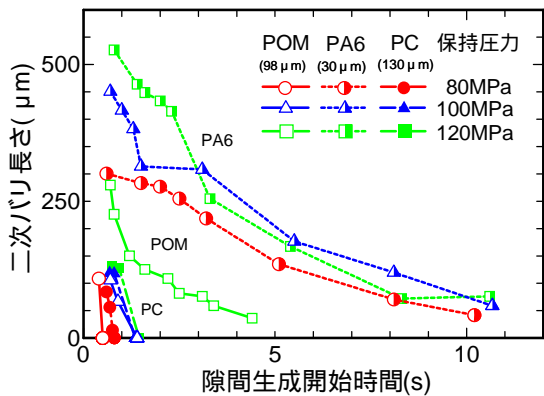


図11 エンジニアリングプラスチックにおける二次バリ長さと隙間生成時間の関係

(6) 考察

前節の結果に基づいて、二次バリの発生機構を推察した結果を図 12 に示す。まず、キャビティ内に溶融樹脂が流れ込み、キャビティ壁面に触れることで、瞬時に固化層が形成される()。そして、樹脂が完全に充填され、金型が高い樹脂圧力を受けることで変形し、金型分割面に隙間が生じ始める()。任意の隙間量に達すると、キャビティ末端部近傍で固化層を形成する樹脂が隙間内に押し出されて二次バリ発生が開始する()。その後、樹脂圧力と隙間量の増加に伴い、上記固化層がその内側の溶融樹脂の圧力に耐えられなくなり、固化層を突き破るようにして隙間内に樹脂が流れ出し、大きく二次バリが進展する()。

汎用プラスチックおよびエンジニアリングプラスチックを問わず、結晶性樹脂 (PP, POM, PA6) よりも非晶性樹脂 (GPPS, PC) の方が、二次バリ長さが小さくなった原因として、結晶化潜熱を有する結晶性樹脂に比べて、非晶性樹脂では冷却固化しやすい性質を持っており、厚く硬い固化層が速やかに形成されるためと推察される。厚く固い固化層が形

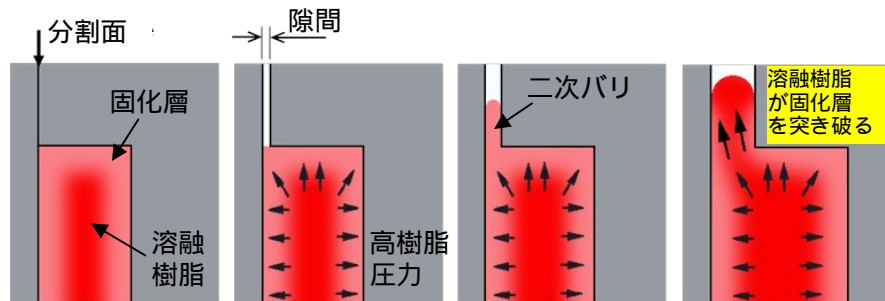


図 12 二次バリの発生機構

成される非晶性樹脂では、PP の場合のような固化層を突き破る のような現象は起こらず、 のプロセスのように、広く開いた隙間内に固化層が押し出される程度の現象にとどまるものと推察される。また、隙間生成開始時間を遅らせた方が、二次バリ長さが減少した原因は、時間経過に伴いキャピティ壁面からの冷却作用により固化層の厚さが増加し、樹脂が隙間に押し出され難くなるためと推察される。このように、金型分割面やスライドコア同士のかみ合い面などに生じる隙間の大きさや、キャピティ内樹脂圧力、さらに、固化層の厚さなどが二次バリ発生の支配因子となるものと推察される。

(7) 結論

本研究で得られた結論を以下に列記する。成形中の任意のタイミングにおいて、所定の量だけ金型分割面に隙間を生成させることが可能なバリ発生評価金型を設計・製作した。

本金型を用いて、金型分割面の隙間量や樹脂圧力を変化させた場合におけるバリ発生状況を観察した。その結果、隙間量がある程度以上に達しないと、二次バリの発生が開始されないことが明らかとなった。

樹脂の種類に関わらず、隙間量と保持圧力の増加に伴い、二次バリ長さが増加すること、また、結晶性樹脂(PP, POM, PA6)に比べて、非晶性樹脂(GPPS, PC)の方が、二次バリの発生には大きな隙間量を要することが明らかとなった。

樹脂の種類に関わらず、隙間生成開始時間が遅れるほど、二次バリ長さが減少することが明らかとなった。

金型分割面やスライドコア同士のかみ合い面に生じる隙間の大きさや、キャピティ内樹脂圧力、固化層の厚さなどが二次バリの発生の支配因子となるものと推察した。

以上のように、バリ発生評価金型を開発し、実成形実験を通じて、本金型の有効性を実証した。また、バリの発生し難い最適成形条件や、金型の設計、樹脂の開発を行うために有効な指針となる、二次バリの発生機構を提示することができた。

【参考文献】

- 1) 廣 恵, 本 吉 : プラスチック成形加工入門, 242 (1979) 日刊工業新聞社
- 2) 横井, 横溝 : 成形加工 ' 97, 54 (1997)
- 3) 横溝, 横井 : 成形加工シンポジア ' 97, 267 (1997)
- 4) 村田, 橋本, 原, 清水, 柴崎, 新田, 菊森 : 成形加工, 25, 5, 234 (2013)
- 5) 村田, 菱田, 小松, 新田, 齊藤, 菊森 : 成形加工, 25, 6, 283 (2013)

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

村田泰彦、菱田智大、所 寛、吉田高平、射出成形におけるバリ発生評価金型の開発、プラスチック成形加工学会誌 成形加工、査読有、26 巻、6 号、2014、pp.270-275

[学会発表](計2件)

村田泰彦、菱田智大、吉田高平、所 寛、射出成形におけるバリ発生評価金型、型技術ワークショップ in KOBE、2012 年 11 月 29 日、神戸市産業振興センター

菱田智大、楠 崇秀、吉田高平、所 寛、村田泰彦、射出成形におけるバリ発生評価金型の開発、成形加工シンポジア ' 11、2011年10月15日、秋田大学

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

村田 泰彦 (MURATA Yasuhiko)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号 : 0 0 2 0 0 3 0 3