

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7047073号
(P7047073)

(45)発行日 令和4年4月4日(2022.4.4)

(24)登録日 令和4年3月25日(2022.3.25)

(51)国際特許分類 F I
B 2 9 C 45/76 (2006.01) B 2 9 C 45/76

請求項の数 20 (全15頁)

| | | | |
|-------------------|----------------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2020-512736(P2020-512736) | (73)特許権者 | 514159601 アイエムフラックス インコーポレイテッド アメリカ合衆国 4 5 0 1 5 オハイオ州 ハミルトン シムズ ロード 3 5 5 0 |
| (86)(22)出願日 | 平成30年9月6日(2018.9.6) | (74)代理人 | 110001243 特許業務法人 谷・阿部特許事務所 |
| (65)公表番号 | 特表2020-533197(P2020-533197 A) | (72)発明者 | ジーン マイケル アルトネン アメリカ合衆国 4 5 0 6 9 オハイオ州 ウェスト チェスター ノーダン ドライブ 7 6 4 9 |
| (43)公表日 | 令和2年11月19日(2020.11.19) | (72)発明者 | ブライアン マシュー バーンズ アメリカ合衆国 4 5 0 4 0 オハイオ州 メーソン コープ ビュー ドライブ 7 6 6 5 |
| (86)国際出願番号 | PCT/US2018/049638 | | |
| (87)国際公開番号 | WO2019/051009 | | |
| (87)国際公開日 | 平成31年3月14日(2019.3.14) | | |
| 審査請求日 | 令和3年3月16日(2021.3.16) | | |
| (31)優先権主張番号 | 62/555,317 | | |
| (32)優先日 | 平成29年9月7日(2017.9.7) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US) | | |
| (31)優先権主張番号 | 62/583,858 | | |
| (32)優先日 | 平成29年11月9日(2017.11.9) | | |
| | 最終頁に続く | | 最終頁に続く |

(54)【発明の名称】 射出成形機のPID制御を自動チューニングするためのシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

射出成形システムであって、

射出成形機と、

射出圧力を検知するように構成された圧力センサーと、

前記圧力センサーに動作可能に接続され、前記検知された射出圧力と制御モデルによって示された圧力設定点との間の誤差に基づいて前記射出成形機の前記射出圧力を制御するように構成された比例 - 積分 - 微分 (PID) コントローラであって、(i) 比例成分に関連付けられた第1のゲインと、(ii) 積分成分に関連付けられた第2のゲインと、(iii) 微分成分に関連付けられた第3のゲインと、を有する、PIDコントローラと、

前記射出成形機他の動作パラメータを示すセンサーデータを生成するように構成された少なくとも1つの他のセンサーと、

前記少なくとも1つの他のセンサーおよび前記PIDコントローラに動作可能に接続されたチューニングコントローラであって、複数の設定点射出圧力値を定義する金型サイクル内で、

前記少なくとも1つの他のセンサーから、前記生成されたセンサーデータを取得し、

前記センサーデータに基づいて、前記第1、第2、および第3のゲインのうちの少なくとも1つのゲイン調整を決定し、かつ

前記決定されたゲイン調整を使用して、前記第1、第2、および第3のゲインのうちの少なくとも1つを調整するように構成されている、チューニングコントローラと、

を備えたことを特徴とする射出成形システム。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの他のセンサーが、スクリー位置センサーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の射出成形システム。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの他のセンサーが、キャピティ圧力センサーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の射出成形システム。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの他のセンサーが、スクリー速度センサーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の射出成形システム。

10

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの他のセンサーが、温度センサーを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の射出成形システム。

【請求項 6】

前記射出成形機の前記射出圧力を制御するために、PIDコントローラが、圧力バルブの位置を調整するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記射出成形機のモデルを格納するように構成された機械モデルデータベースをさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記第 1、第 2、および第 3 のゲインのうちの少なくとも 1 つの前記ゲイン調整を決定するために、前記チューニングコントローラが、前記機械モデルデータベースから、前記射出成形機に対応する前記モデルを取得し、かつ前記取得されたモデルおよび前記センサーデータに基づいて、前記第 1、第 2、および第 3 のゲインのうちの少なくとも 1 つの前記ゲイン調整を決定するように構成されていることを特徴とする請求項 7 に記載のシステム。

20

【請求項 9】

射出成形システムであって、

射出成形機と、

射出速度を検知するように構成された速度センサーと、

30

前記速度センサーに動作可能に接続され、前記検知された射出速度と制御モデルによって示された速度設定点との間の誤差に基づいて前記射出成形機の前記射出速度を制御するように構成された比例 - 積分 - 微分 (PID) コントローラであって、(i) 比例成分に関連付けられた第 1 のゲインと、(ii) 積分成分に関連付けられた第 2 のゲインと、(iii) 微分成分に関連付けられた第 3 のゲインと、を有する、PID コントローラと、前記射出成形機の他の動作パラメータを示すセンサーデータを生成するように構成された少なくとも 1 つの他のセンサーと、

前記少なくとも 1 つの他のセンサーおよび前記 PID コントローラに動作可能に接続されたチューニングコントローラであって、複数の設定点射出圧力値を定義する金型サイクル内で、

40

前記少なくとも 1 つの他のセンサーから、前記生成されたセンサーデータを取得し、前記センサーデータに基づいて、前記第 1、第 2、および第 3 のゲインのうちの少なくとも 1 つのゲイン調整を決定し、かつ

前記決定されたゲイン調整を使用して、前記第 1、第 2、および第 3 のゲインのうちの少なくとも 1 つを調整するように構成されている、チューニングコントローラと、を備えたことを特徴とする射出成形システム。

【請求項 10】

前記少なくとも 1 つの他のセンサーが、スクリー位置センサーを含むことを特徴とする請求項 9 に記載の射出成形システム。

【請求項 11】

50

前記少なくとも1つの他のセンサーが、キャピティ圧力センサーを含むことを特徴とする請求項9に記載の射出成形システム。

【請求項12】

前記少なくとも1つの他のセンサーが、スクリュウ圧力センサーを含むことを特徴とする請求項9に記載の射出成形システム。

【請求項13】

前記少なくとも1つの他のセンサーが、温度センサーを含むことを特徴とする請求項9に記載の射出成形システム。

【請求項14】

前記射出成形機のモデルを格納するように構成された機械モデルデータベースをさらに含むことを特徴とする請求項9に記載のシステム。 10

【請求項15】

前記第1、第2、および第3のゲインのうちの少なくとも1つの前記ゲイン調整を決定するために、前記チューニングコントローラが、前記機械モデルデータベースから、前記射出成形機に対応するプロファイルを取得し、かつ前記取得されたモデルおよび前記センサーデータに基づいて、前記第1、第2、および第3のゲインのうちの少なくとも1つの前記ゲイン調整を決定するように構成されていることを特徴とする請求項14に記載のシステム。

【請求項16】

射出成形機を制御する方法であって、
 複数の設定点値を定義する金型サイクルを実行することと、
 前記金型サイクル内で、
 前記射出成形機を監視する1つ以上のセンサーから、前記射出成形機の動作パラメータを示すセンサーデータを取得することと、
 前記センサーデータに基づいて、前記射出成形機のスクリュウの動作を駆動する比例-積分-微分(PID)コントローラのゲイン調整を決定することであって、前記PIDコントローラが、(i)比例成分に関連付けられた第1のゲインと、(ii)積分成分に関連付けられた第2のゲインと、(iii)微分成分に関連付けられた第3のゲインと、を有する、決定することと、
 前記決定されたゲイン調整を使用して、前記PIDコントローラの前記第1、第2、および第3のゲインのうちの少なくとも1つを調整することと、
 を含むことを特徴とする方法。 20

【請求項17】

機械モデルデータベースから、前記射出成形機を表すモデルを取得することをさらに含むことを特徴とする請求項16に記載の方法。 30

【請求項18】

前記PIDコントローラの前記ゲイン調整を決定することが、前記取得したモデルおよび前記センサーデータに基づいて、前記ゲイン調整を決定することを含むことを特徴とする請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記ゲインを調整することが、前記射出成形機の射出圧力を変更するために、前記PIDコントローラ前記PIDコントローラの前記第1、第2、または第3のゲインのうちの少なくとも1つを調整することであることを特徴とする請求項17に記載の方法。 40

【請求項20】

前記ゲインを調整することが、前記PIDコントローラの前記第1、第2、または第3のゲインのうちの少なくとも1つを調整して、前記射出成形機の射出速度を変更することを特徴とする請求項17に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

関連出願の相互参照

本出願は、2017年9月7日に出願された「Systems and Methods for Autotuning PID control of Injection Molding」と題された米国仮特許出願第62/555,317号および2017年11月9日に出願された「Systems and Methods for Normalizing PID Control Across Injection Molding Machines」と題された米国仮特許出願第62/583,858号の優先権を主張し、両方の全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本出願は、一般に、射出成形プロセスの制御に関し、より具体的には、可変ゲイン比例積分微分(PID)コントローラの使用による射出成形プロセスの制御に関する。

10

【背景技術】

【0003】

プラスチック物品の成形には、一般に射出成形機が使用される。射出成形機は、金型サイクルを繰り返し実施することにより、プラスチック物品を成形する。各金型サイクル中に、機械は、溶融プラスチックを金型に射出し、プラスチックを冷却し、金型を開き、成形物品を排出し、金型を閉じ、次のサイクルのために回復する。様々な射出成形機は、当技術分野で知られているように、この金型サイクルの変形を含む。金型サイクルを実行するようにプログラムされた制御システムは、金型サイクルに従って機械を制御する。

【0004】

いくつかの従来の射出成形システムでは、制御システムに比例積分微分(PID)コントローラが含まれている。PIDコントローラは、射出成形機の現在の動作を、金型サイクルで定義された設定点と比較する。設定点と現在の操作の間の誤差は、プロセス変数の調整に使用される。PIDコントローラによって計算される調整は、一般に現在の誤差を示す比例成分、一般に過去の誤差を示す積分成分、および一般に将来の予測誤差を示す微分成分の、3つの成分で構成される。これらの各成分は、PIDコントローラによって生成された制御値に対する成分の影響を調整するゲインに関連付けられている。

20

【0005】

いくつかのさらに従来の成形システムでは、比例、積分、微分成分のゲインは、金型サイクル全体で固定されている。ただし、プロセス変数の固定ゲインPID制御は、PIDコントローラが設定点値を達成するようにプロセス変数を調整するため比較的大きな振動に関連付けられている。射出成形プロセスの文脈では、これは、金型サイクル間の成形製品の一貫性が低く、成形製品に許容できない欠陥が含まれる可能性が高くなることを意味する。

30

【0006】

なおさらに従来の成形システムでは、PIDコントローラの初期ゲイン値を含む金型サイクルは、ある射出成形機から別の射出成形機に単純にコピーされる。ただし、異なる射出成形機は、同じ制御信号に対して異なる応答をする場合がある。したがって、同じ金型サイクルを実行しているにもかかわらず、異なる射出成形機は異なる成形製品を生産する可能性がある。言い換えると、異なる射出成形機で同じ金型サイクルを実行すると、PIDコントローラに関連付けられた振動が増加する可能性がある。結果として、これらのさらなる従来の成形システムは、異なる射出成形機にわたって金型サイクルを実行しているとき、一貫性の低い結果を生成する。

40

【発明の概要】

【0007】

しかしながら、本開示の実施形態は、固定ゲインPIDコントローラを可変ゲインPIDコントローラに変更することにより、射出成形機の動作を改善するために使用することができる。可変ゲインPIDコントローラでは、比例、積分、または微分成分の少なくとも1つに関連付けられたゲインが金型サイクル内でチューニングされる。可変ゲインPIDコントローラのチューニング方法を制御するために、射出成形制御システムにチューニン

50

グコントローラを含めることもできる。チューニングコントローラは、可変ゲインPIDコントローラを自動的にチューニングするために、射出成形機の1つ以上の動作条件を分析することができる。様々な実施形態において、射出成形機のコントローラは、チューニングコントローラとして機能する。他の実施形態では、チューニングコントローラは、PIDコントローラのゲインを自動チューニングおよび/または正規化する目的で射出成形機に相互接続された別個のコントローラである。

【0008】

固定ゲインPIDコントローラを使用して射出成形プロセスを制御するのに比べて、可変ゲインPIDコントローラは、生じる振動の数を低減することができ、および/または生じる振動の大きさを低減することができる。振動を低減することにより、射出成形機の性能が、金型サイクルで定義された設定点とどれだけ近くに一致するかが向上する。振動を低減することにより、射出成形機が成形部品を生産する際の一貫性も向上する。射出成形機の一貫性を改善することにより、欠陥製品に起因する無駄が削減される。

10

【0009】

図3を参照すると、設定点圧力102、固定ゲインPIDコントローラ105を使用して印加される圧力、および可変ゲインPIDコントローラ110を使用して印加される圧力との間の時間に対する射出圧力の比較プロットが示される。設定点圧力曲線102は、目標圧力曲線として金型サイクルによって定義され得る。比較プロットに示されているように、固定ゲインPIDコントローラ105の圧力曲線は、可変ゲインPIDコントローラ110の圧力曲線よりも大きな振動を示し、定常状態を達成するのに時間がかかる。

20

【0010】

様々な実施形態において、チューニングコントローラは、射出成形機のそれぞれの動作状態を監視する1つ以上のセンサーに動作可能に接続されてもよい。例えば、1つのセンサーは、スクリュウの位置を監視し得、別のセンサーは、スクリュウが回転する速度を監視し得、さらに別のセンサーは、金型キャビティの圧力を監視し得、なお別のセンサーは、熱可塑性材料または加熱されたバレルの温度を監視し得る。チューニングコントローラは、1つ以上のセンサーによって生成されたセンサーデータを取得して、PIDコントローラの1つ以上のゲインに対するチューニング調整を自動的に決定することができる。

【0011】

さらに、異なる射出成形機は、同じ金型サイクルに従うと異なる性能特性を示す場合がある。例えば、一部の射出成形機は、他の射出成形機よりも頻繁に使用される場合がある。したがって、射出成形機内の可動部品は、磨耗および引き裂きによって生じる特定の効果に応じて、より高いまたはより低い抵抗率を示し得る。別の例として、異なるプロセスを使用して、異なる企業によって異なる射出成形機が製造されてもよい。これらの相違は、射出成形機のモデルによって定量化および表現され得る。

30

【0012】

これらの相違を定量化するために、射出成形機は、定期的に一連の標準化された性能測定を受ける場合がある。これらの測定結果は、射出成形装置のモデルに含めることができる。そのような測定の1つは「デッドヘッド」測定と呼ばれ、キャビティのない金型（つまり、平面に対して）に対して射出成形機によって生成される圧力を測定する。別のこのような測定は「バージポット」と呼ばれ、射出成形機に金型が装填されていないときに生成された圧力を測定する。

40

【0013】

いくつかの実施形態では、金型もモデル化され得る。金型のモデルには、射出成形機によって実行された履歴金型サイクルに関連付けられたデータが含まれる場合がある。例えば、データには、金型サイクルを実行した射出成形機の識別子、金型サイクルの過程で検知された複数の射出圧力または射出速度値、または金型サイクルを実行しているときの射出成形機他の特性が含まれ得る。

【0014】

様々な実施形態において、チューニングコントローラは、射出成形機および金型を表すモ

50

デルを格納するモデルデータベースにも動作可能に接続される。チューニングコントローラは、チューニングコントローラが動作可能に接続されている射出成形機に対応するモデルを取得することができる。1つ以上のセンサーから取得したセンサーデータに加えて、チューニングコントローラは、PIDコントローラのゲインの1つ以上に対するチューニング調整を自動的に決定しているときに、射出成形機のモデルを分析することができる。

【0015】

射出成形機のモデルを分析すると、生じる振動がさらに減少するため、射出成形機の一貫性がさらに向上する。

【0016】

いくつかの実施形態では、チューニングコントローラは、金型のモデルの履歴金型サイクルデータに基づいて、射出成形機の金型サイクルを正規化する。このため、チューニングコントローラは、金型サイクルの過去の操作を、金型サイクルを実行した射出成形機のモデルに含まれるパラメータと比較することができる。その結果、チューニングコントローラは、射出成形機のパラメータと金型の金型サイクル性能との相関を決定することができる。この相関に基づいて、チューニングコントローラは、対応する射出成形機での金型サイクルの実行を正規化することができる。

10

【0017】

金型サイクルの実行の正規化することは、PIDコントローラの初期ゲイン値および/または金型サイクルに関連付けられた他の値を調整することが含まれ得る。例えば、チューニングコントローラは、溶融温度、金型温度、スクリー回転速度、または切り替え位置を調整することができる。金型サイクルの実行を正規化することにより、PIDコントローラは、設定点値とプロセス値の間の誤差を低減することができ、それによって生ずる振動を低減し、成形製品の一貫性を向上させることができる。振動低減における前述の向上は、可変ゲインPIDコントローラの使用によって達成される向上とは無関係であることを理解されたい。したがって、金型サイクルの正規化により、固定ゲインPIDコントローラを含むシステムでも生ずる振動が減少する。

20

【0018】

いくつかの実施形態では、可変ゲインPIDコントローラは、射出成形機が熱可塑性材料を金型に射出する圧力を制御することができる。これらの実施形態では、可変ゲインPIDコントローラは、検知された射出圧力と、金型サイクルによって示される設定点射出圧力との間の誤差を決定することができる。

30

【0019】

いくつかの他の実施形態では、可変ゲインPIDコントローラは、射出成形機が熱可塑性材料を金型に射出する速度を制御することができる。これらの実施形態では、可変ゲインPIDコントローラは、検知された射出速度と、金型サイクルによって示される設定点射出速度との間の誤差を決定することができる。

【0020】

いくつかの追加の実施形態では、2つの異なる可変ゲインPIDコントローラが、射出成形機の射出圧力と射出速度を別々に制御することができる。または、同じ可変ゲインPIDコントローラで、射出成形機の射出圧力と射出速度の両方を制御することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

本明細書は、本開示と見なされる主題を特に指摘し明確に主張する特許請求の範囲で結論付けるが、本発明は、添付の図面と併せて以下の説明からより完全に理解されると考えられる。図面のうちのいくつかは、他の要素をより明確に示す目的で選択された要素を省略することによって簡略化されたものであり得る。いくつかの図面におけるこのような要素の省略は、対応する記述において明示的に描出され得る場合を除いて、例示的な実施形態のうちのいずれにおいても必ずしも特定の要素の存否を示すものではない。図面は、必ずしも一定の縮尺ではない。

【0022】

50

【図 1】本開示により構成された射出成形機の概略図を示す。

【図 2】本開示により構成された複数の射出成形機を組み込んだ射出成形プラントの概略図を示す。

【図 3】設定点圧力、固定ゲイン P I D コントローラを使用して印加される圧力、および可変ゲイン P I D コントローラを使用して印加される圧力の間の時間に対する射出圧力の比較プロットである。

【図 4】射出成形機の可変ゲイン P I D 制御を自動チューニングするための例示的な方法を示す。

【図 5】射出成形機の可変ゲイン P I D 制御を正規化する例示的な方法を示す。

【発明を実施するための形態】

10

【0023】

図面を詳細に参照すると、図 1 は、特に 100 以上の L/T 比を有する、熱可塑性樹脂部品を大量に生産するための例示的な射出成形機 10（例えば、クラス 101 または 30 射出成形、または「超高生産性成形」）を示す。射出成形機 10 は、一般に、射出システム 12 およびクランプシステム 14 を含む。熱可塑性材料は、熱可塑性ペレット 16 の形態で射出システム 12 に導入され得る。熱可塑性ペレット 16 は、熱可塑性ペレット 16 を射出システム 12 の加熱バレル 20 に供給するホッパー 18 に入れることができる。熱可塑性ペレット 16 は、加熱バレル 20 に供給された後、往復スクリュウ 22 などのラムによって加熱バレル 20 の端部まで駆動され得る。加熱バレル 20 の加熱および往復スクリュウ 22 による熱可塑性ペレット 16 の圧縮により、熱可塑性ペレット 16 が溶融し、溶融熱可塑性材料 24 が形成される。溶融熱可塑性材料は、典型的には、約 130 ~ 約 410 の温度で処理される。

20

【0024】

往復スクリュウ 22 は、溶融熱可塑性材料 24 をノズル 26 に向かって押して、熱可塑性材料のショットを形成し、これは、1つ以上のゲートを介して金型 28 の金型キャビティ 32 に射出される。溶融熱可塑性材料 24 は、溶融熱可塑性材料 24 の流れを金型キャビティ 32 に向けるゲート 30 を通して射出することができる。他の実施形態では、ノズル 26 は、供給システム（図示せず）によって1つ以上のゲート 30 から分離され得る。金型キャビティ 32 は、金型 28 の第1および第2の金型側面 25、27 の間に形成され、第1および第2の金型側面 25、27 は、プレスまたはクランプユニット 34 によって圧力下で一緒に保持される。プレスまたはクランプユニット 34 は、成形プロセス中に2つの金型半分 25、27 を分離するように作用する射出圧力によって加えられる力よりも大きいクランプ力を適用し、それによって溶融熱可塑性材料 24 が金型キャビティ 32 に射出される間、第1および第2の金型側面 25、27 を一緒に保持する。典型的な高可変圧力射出成形機では、クランプ力は射出圧力に直接関係するため、プレスは通常 30,000 p s i 以上を及ぼす。これらのクランプ力をサポートするために、クランプシステム 14 は、金型フレームおよび金型ベースを含んでもよい。

30

【0025】

溶融熱可塑性材料 24 のショットが金型キャビティ 32 に射出されると、往復スクリュウ 22 は前方への移動を停止する。溶融熱可塑性材料 24 は、金型キャビティ 32 の形態を取り、溶融熱可塑性材料 24 は、熱可塑性材料 24 が固化するまで金型 28 内で冷却する。熱可塑性材料 24 が固化すると、プレス 34 は、第1および第2の金型側面 25、27 を解放し、第1および第2の金型側面 25、27 は互いに分離され、完成部品は金型 28 から排出され得る。金型 28 は、全体の生産速度を高めるために複数の金型キャビティ 32 を含むことができる。複数の金型キャビティのキャビティの形状は、互いに同一、類似、または異なってもよい。（後者は、金型キャビティのファミリーと見なされ得る）。

40

【0026】

可変ゲイン制御システム 70 は、射出成形機 10 に通信可能に接続されている。可変ゲイン制御システム 70 は、比例 - 積分 - 微分 (P I D) コントローラ 62 によって制御されるプロセスパラメータを監視するように構成されたセンサー 52 を含むことができる。セ

50

ンサー 5 2 によって監視されるプロセスパラメータのプロセス値は、加算器または比較器 5 5 を介して設定点値 5 8 と比較される。設定点値 5 8 は、金型サイクルによって定義されるプロセスパラメータの目標値を表す。PID コントローラ 6 2 が射出圧力を制御する実施形態では、センサー 5 2 は、ノズル 2 6 の近くの熔融熱可塑性材料 2 4 の熔融圧力を（直接的または間接的に）測定する圧力センサーであってもよい。同様に、PID コントローラ 6 2 が射出速度を制御する実施形態では、センサー 5 2 は、ノズル 2 6 の近くの熔融熱可塑性材料 2 4 の流量を（直接的または間接的に）測定する速度センサーであってもよい。加算器または比較器 5 5 の出力は、プロセスパラメータの目標プロセス値と実際に検知されたプロセス値との間の誤差である。この誤差は、PID コントローラ 6 2 への入力として使用される。

10

【 0 0 2 7 】

当技術分野で知られているように、PID コントローラ 6 2 は、誤差を比例成分、積分成分、および微分成分に変換する。これらの成分は各、それぞれのゲインに対応している。PID コントローラ 6 2 は、各成分にそれぞれのゲインを乗算し、結果の積を加算してプロセスパラメータの制御値を生成する。制御値に基づいて、PID コントローラ 6 2 は、バルブ 6 8 の位置を調整して、射出成形システム 1 2 の制御値に影響を与える。PID コントローラ 6 2 は、バルブ 6 8 の位置を調整して制御値に影響を与えるが、代替の制御デバイス（ウェルまたはドライブなど）も想定される。

【 0 0 2 8 】

PID コントローラ 6 2 のゲインは、チューニングコントローラ 6 0 によってチューニングされる。チューニングコントローラ 6 0 は、1 つ以上のセンサー 5 6 に動作可能に接続されている。1 つ以上のセンサー 5 6 は、射出圧力システム 1 2 または熔融熱可塑性材料 2 4 の特性、例えば熔融圧力、温度、粘度、流量などを直接または間接的に監視することができる。1 つ以上のセンサー 5 6 のいくつかは、ノズル 2 6 に位置してもよいが、1 つ以上のセンサー 5 6 の他のものは、射出システム 1 2 または金型 2 8 内の他の場所に位置してもよい。例えば、1 つ以上のセンサー 5 6 のセンサーは、スクリー 2 2 の位置または金型キャビティ 3 2 内の圧力を監視し得る。1 つ以上のセンサー 5 6 によって生成されたセンサーデータに基づいて、チューニングコントローラ 6 0 は、PID コントローラ 6 2 の比例ゲイン、積分ゲイン、または微分ゲインのうちの 1 つ以上を調整することができる。

20

【 0 0 2 9 】

一部の実施形態では、チューニングコントローラ 6 0 は、モデルデータベース 6 6 に動作可能に接続されている。モデルデータベース 6 6 は、射出成形機 1 0 および / または金型 2 8 の特定の特性を詳述するモデルを格納してもよい。例えば、モデルは、射出成形機 1 0 または金型 2 8 に関連する材料、射出成形機 1 0 の 1 つ以上の成分の抵抗率、射出成形機 1 0 によって導入された 1 つ以上のプロセス変数の既知の誤差、射出成形機 1 0 のパージポット圧力、および / または射出成形機 1 0 のデッドヘッド圧力に関連する情報を含むことができる。したがって、チューニングコントローラ 6 0 は、PID コントローラ 6 2 のゲインを自動的にチューニングしているときに、射出成形機 1 0 および / または金型 2 8 のモデルを取得および分析することができる。

30

【 0 0 3 0 】

いくつかの実施形態では、チューニングコントローラ 6 0 は、射出成形機 1 0 のモデルを分析して調整を決定する機械学習モデルを利用してもよい。これらの実施形態において、機械学習モデルは、強化学習技術を使用することなどにより、以前の射出サイクルの履歴データで訓練され、モデルによって表される特性と予想される射出成形機性能との関係を決定することができる。

40

【 0 0 3 1 】

図 2 は、複数の射出成形機 1 0 a および 1 0 b を組み込んだ射出成形プラント 5 の概略図を示している。射出成形機 1 0 a および 1 0 b の各々は、対応する可変ゲイン制御システム 7 0 a および 7 0 b によって制御されてもよい。可変ゲイン制御システム 7 0 a および

50

70bの各々は、モデルデータベース66に動作可能に接続され得る。したがって、可変ゲイン制御システム70aは、射出成形機10aに対応するモデルをモデルデータベース66から取得することができ、可変ゲイン制御システム70bは、射出成形機10bに対応するモデルをモデルデータベース66から取得することができる。いくつかの代替実施形態では、可変ゲイン制御システム70aおよび70bは、各任意のモデルデータのコピーを維持する異なるモデルデータベース66に動作可能に接続される。

【0032】

いくつかの実施形態では、金型28を使用して、第1の時点において射出成形機10aで金型サイクルを実行することができる。後の時点で、金型28を射出成形機10bに移動して、金型サイクルの1つ以上の運転を実行することができる。このシナリオでは、射出成形機10aでの運転中に観察される金型28および/または対応する金型サイクルに関する情報は、射出成形機10bでの金型サイクルの実行性能を改善することができる。例えば、金型28の1つ以上の特性は、射出成形機10aのモデルと、金型サイクルを実行している射出成形機10aの測定された性能との比較に基づいて導出され得る。いくつかの実施形態では、可変ゲイン制御システム70aは、金型28の特性および/または測定された性能を金型28のモデルの形態でモデルデータベース66に格納する。

10

【0033】

射出成形機10bが金型28の金型サイクルを実行する前に、可変ゲイン制御システム70bは、モデルデータベース66にアクセスして、金型28の格納されたモデルを取得することができる。次に、可変ゲイン制御システム70bは、射出成形機10aのモデルに格納されたパラメータと、金型28のモデルに格納された過去の金型サイクルの測定された性能との相関を決定する。これらの差に基づいて、可変ゲイン制御システム70bは、射出成形機10bのモデルに相関を適用して、金型サイクルを実行している射出成形機10bの期待される性能を予測する。次いで、可変ゲイン制御システム70bは、可変ゲイン制御システム70bの可変ゲインPIDコントローラの初期ゲイン値を含む金型サイクルの1つ以上のパラメータを調整して、結果として得られる成形製品が、意図した出力と一致する一貫性および/または精度を改善することができる。

20

【0034】

可変ゲイン制御システム70bのチューニングコントローラは、金型サイクルの実行中に金型28のモデルを分析することもできる。より具体的には、可変ゲイン制御システム70bのチューニングコントローラは、可変ゲイン制御システム70の可変ゲインPIDコントローラのゲインをチューニングしているときに、金型28のモデルを分析することができる。

30

【0035】

図4は、射出成形機10の可変ゲインPID制御を自動チューニングするための例示的な方法200を示している。方法200は、可変ゲイン制御システム70のPIDコントローラ62の1つ以上のゲインを自動的にチューニングするために、可変ゲイン制御システム70のチューニングコントローラ60によって実行され得る。より具体的には、チューニングコントローラ60は、プロセス変数の複数の設定点値を定義する金型サイクル内でPIDコントローラ62のゲインを自動的にチューニングすることができる。いくつかの実施形態では、プロセス変数は、射出成形機10の射出圧力である。他の実施形態では、プロセス変数は、射出成形機10の射出速度である。チューニングコントローラ60は、金型サイクル全体を通して例示的な方法200を繰り返し実行できることを理解されたい。

40

【0036】

例示的な方法200は、チューニングコントローラ60が、1つ以上のセンサー56から、射出成形機10の動作を示すセンサーデータを取得することにより開始する(ブロック202)。センサーデータは、スクリュウ22の位置、金型キャビティ32内で検知された圧力、スクリュウ22が回転する速度、熱可塑性材料の温度、熱可塑性材料の粘度、および/または射出成形機10の動作を示す他のセンサーデータを示し得る。いくつかの実施形態では、センサーデータのタイプごとに、チューニングコントローラ60は1つまた

50

は複数の履歴値を維持する。例えば、チューニングコントローラ 60 は、1 つ以上のセンサー 56 により生成された現在の値を取得するだけでなく、1 つ以上のセンサー 56 により生成された値の変化率の表示も取得し得る。

【0037】

得られたセンサーデータに基づいて、チューニングコントローラは、PIDコントローラ 62 の比例成分に関連付けられた第 1 のゲイン、PIDコントローラ 62 の積分成分に関連付けられた第 2 のゲイン、または PIDコントローラ 62 の微分成分に関連付けられた第 3 のゲインのうち少なくとも 1 つの調整を決定し得る (ブロック 204)。例えば、スクリュ位置センサーは、スクリュ 22 が完全にねじ込まれた位置に近づいていることを示し得る。したがって、チューニングコントローラ 60 は、PIDコントローラ 62 の積分成分に関連付けられた第 2 のゲインを減少させるべきであると決定することができる。

10

【0038】

いくつかの実施形態では、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 のモデルを取得するためにモデルデータベースに問い合わせることができる。チューニングコントローラ 60 は、第 1、第 2、または第 3 のゲインの調整を決定している際に、射出成形機 10 のモデルを利用してもよい。例えば、モデルは、射出成形機 10 が第 1、第 2、または第 3 のゲインの変化にどれだけ敏感であるかの指標を提供し得る。スクリュ位置センサーからのセンサーデータが PIDコントローラ 62 の積分成分に関連付けられた第 2 のゲインを減少させることを示すスクリュ位置の例に戻ると、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 のモデルを分析して PIDコントローラ 62 の積分成分に関連する第 2 のゲインが減少させるべき量を決定する。別の例として、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 のモデルを分析して調整を決定する機械学習モデルを利用してもよい。

20

【0039】

決定された調整を使用して、チューニングコントローラ 60 は、PIDコントローラ 62 の第 1、第 2、または第 3 のゲインを調整することができる (ブロック 206)。この目的のために、PIDコントローラ 62 は、第 1、第 2、または第 3 のゲインを構成するコマンドを受信するための 1 つまたは複数のインターフェースを含むことができる。インターフェースには、アプリケーションプログラミングインターフェース (API) などのアプリケーション層インターフェースと、有線または無線の通信リンクなどの通信インターフェースが含まれ得る。チューニングコントローラ 60 は、PIDコントローラ 62 の API によって定義されるフォーマットで第 1、第 2、または第 3 のゲインうちの 1 つを調整するコマンドを生成し、有線または無線通信リンクを介してコマンドを PIDコントローラ 62 に送信し得る。

30

【0040】

図 5 は、射出成形機 10 の制御を正規化する例示的な方法を示している。方法 300 は、可変ゲイン制御システム 70 b の PIDコントローラ 62 の 1 つ以上の初期ゲイン値を設定するために、可変ゲイン制御システム 70 b のチューニングコントローラ 60 によって実行され得る。より具体的には、チューニングコントローラ 60 は、金型サイクルを実行する前に、PIDコントローラ 62 の初期ゲイン値を設定することができる。いくつかの実施形態では、PIDコントローラ 62 は、射出成形機 10 b の射出圧力を制御する。他の実施形態では、PIDコントローラ 62 は、射出成形機 10 の射出速度を制御する。チューニングコントローラ 60 は、生産運転内で金型サイクルの各実行の後に例示的な方法 300 を繰り返し実行できることを理解されたい。

40

【0041】

例示的な方法 300 は、モデルデータベース 66 から、射出成形機 10 a のモデル、射出成形機 10 b のモデル、および金型 28 のモデルを取得することから始まる (ブロック 302)。射出成形機 10 a および 10 b のモデルは、パージポットまたはデッドヘッド射出圧力、プロセス値の既知の誤差、射出成形機 10 a または 10 b の成分の抵抗率、およ

50

び / または射出成形機 10 a および 10 b の特性を説明する他のデータを示してもよい。金型 28 のモデルは、金型サイクルを実行している射出成形機 10 a の測定された性能特性、金型 28 を使用して実行される多数の金型サイクル、および / または金型 28 の他の特性を示し得る。

【 0 0 4 2 】

次に、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 a のモデルおよび金型 28 のモデルを分析して、金型 28 を使用して金型サイクルを実行しているときの射出成形機パラメータと金型サイクル性能との相関を決定することができる（ブロック 304）。一例として、金型 28 のモデルは、金型キャビティ圧力が、金型サイクルのパック段階中に好ましいピーク圧力をオーバーシュートする傾向があることを示し得る。履歴性能特性に基づいて、チューニングコントローラ 60 は、クランプシステム 14 においてより高い抵抗率を有する射出成形機でオーバーシュートがより頻繁に生ずることを識別し得る。いくつかの実施形態では、これらの相関は、金型 28 のモデルの一部として格納されてもよい。

10

【 0 0 4 3 】

別の例として、金型 28 が複数の金型サイクルを実行するために使用されると、金型 28 は、磨耗および引き裂きを受ける。したがって、時間の経過とともに、金型 28 に射出される熱可塑性材料は、異なるレベルの摩擦を受ける。これらの相違を説明するために、チューニングコントローラ 60 は、各金型サイクル後のキャビティの摩擦を示すデータを金型 28 のモデルに記録する。この例では、チューニングコントローラ 60 は、金型 28 のモデルを分析して、金型摩擦の変化を考慮して金型サイクルを調整する。

20

【 0 0 4 4 】

射出成形機パラメータと金型サイクル性能との相関関係を決定した後、チューニングコントローラ 60 は、次にこれらの相関関係を射出成形機 10 b のモデルに適用して、金型サイクルを実行しているときに射出成形機 10 b の期待される性能を予測する（ブロック 306）。より具体的には、チューニングコントローラ 60 は、予測された性能特性と、金型サイクルの性能特性に対する指定された要件または最適値との間の偏差を特定し得る。前の例に戻ると、射出成形機 10 b のモデルは、ピークキャビティ圧力をオーバーシュートする傾向のある射出成形機と同様のクランプ抵抗を示し得る。

【 0 0 4 5 】

同様に、油圧射出成形機と電動射出成形機は、同じ金型サイクルに対して異なる応答をする場合がある。いくつかの実施形態では、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 b のモデルを分析して、射出成形機 10 b が油圧射出成形機であるか電動射出成形機であるかを識別する。したがって、この例では、チューニングコントローラ 60 がモデル 10 b に相関を適用すると、チューニングコントローラ 60 は、油圧または電動射出成形機が制御された入力にどのように応答するかについて学習した知識を組み込む。別の例として、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 および / または金型 28 のモデルを分析して、射出成形機 10 b の期待される性能を予測する機械学習モデルを利用し得る。

30

【 0 0 4 6 】

偏差を修正するために、チューニングコントローラ 60 は、PID コントローラ 62 の 1 つ以上の初期ゲイン値を決定し得る（ブロック 308）。例えば、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 b がピーク圧力を超えないようにするのに助けるために、PID コントローラ 62 の微分成分のゲインを増加させることができる。いくつかの実施形態では、ゲインが調整される量は、射出成形機 10 b のモデルに含まれる特性に基づいている。付加的にまたは代替的に、チューニングコントローラ 60 は、金型サイクルの特性の調整を決定し得る。例えば、チューニングコントローラ 60 は、射出成形機 10 b の熔融温度、金型温度、スクリュウ回転速度、または切り替え位置の少なくとも 1 つを調整することができる。別の例として、チューニングコントローラ 60 は、PID コントローラ 62 によって制御されるプロセス値の 1 つ以上の設定点値を調整することができる。

40

【 0 0 4 7 】

50

決定された初期ゲイン値を使用して、チューニングコントローラ60は、PIDコントローラ62の第1、第2、または第3のゲインの初期ゲイン値を設定してもよい(ブロック310)。方法200に関して説明したように、PIDコントローラ62は、第1、第2、または第3のゲインを構成するコマンドを受信するための1つ以上のインターフェースを含むことができる。したがって、チューニングコントローラ60は、PIDコントローラ62のAPIによって定義されるフォーマットで第1、第2、または第3のゲインのうちの1つを調整するコマンドを生成し、有線または無線通信リンクを介してコマンドをPIDコントローラ62に送信し得る。同様に、チューニングコントローラ60は、決定された調整を使用して金型サイクルを調整することができる。

【0048】

PIDコントローラ62の初期値を設定した後、チューニングコントローラ60は、例示的な方法200を実行することなどにより、金型サイクルを実行することができる。いくつかの実施形態では、金型サイクルを実行した後、チューニングコントローラ62は、実行されたばかりの金型サイクルを記述する特性を含めるように金型28のモデルを更新する。

【0049】

本明細書に開示される寸法および値は、列挙される正確な数値に厳密に制限されるものとは理解されない。代わりに、特に指定のない限り、このような各寸法は、列挙される値およびその値の周辺の機能的に同等の範囲の両方を意味することが意図される。例えば、「40mm」として開示される寸法は、「約40mm」を意味することが意図される。

【0050】

本発明の特定の実施形態を例示し、説明してきたが、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、様々な他の変更および修正を行うことができることは、当業者には明らかであろう。したがって、添付の特許請求の範囲において、本発明の範囲内にあるこのようなすべての変更および修正を包含することが意図される。

10

20

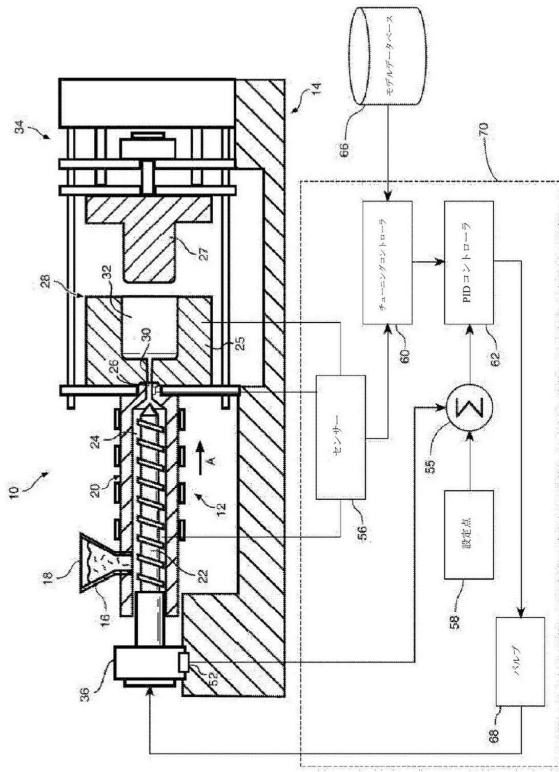
30

40

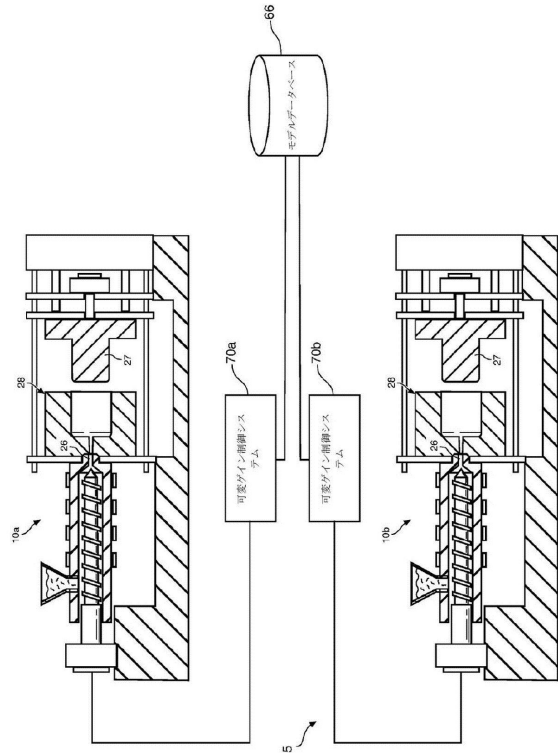
50

【図面】

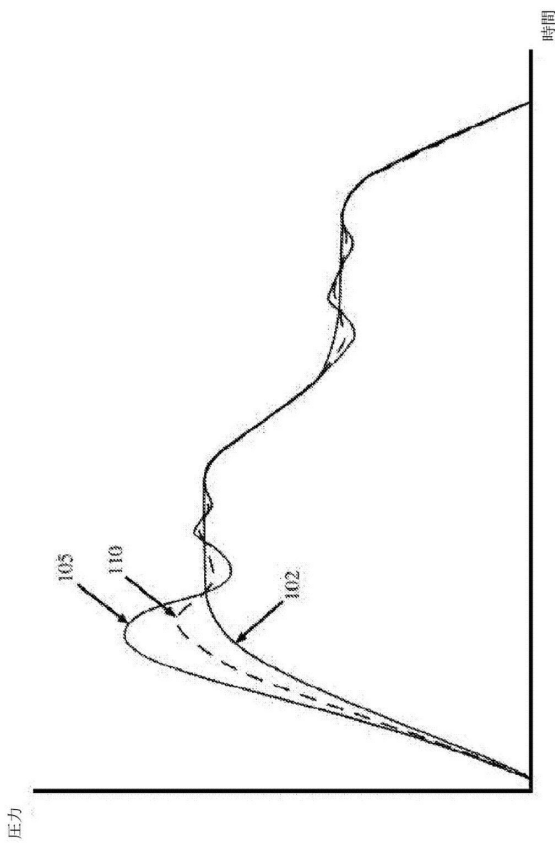
【図 1】



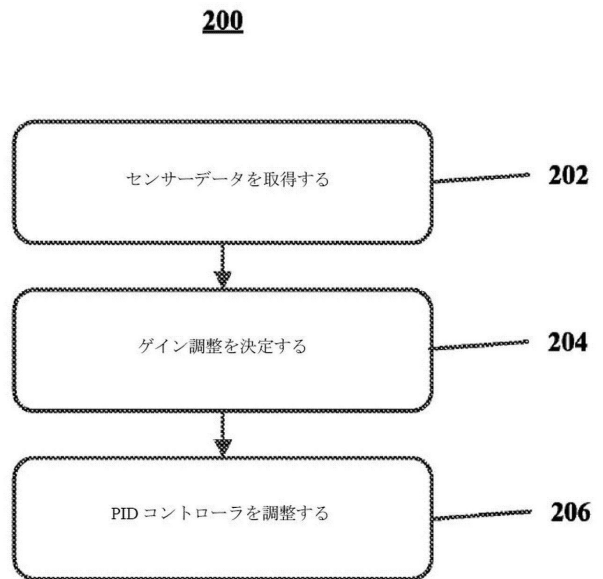
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

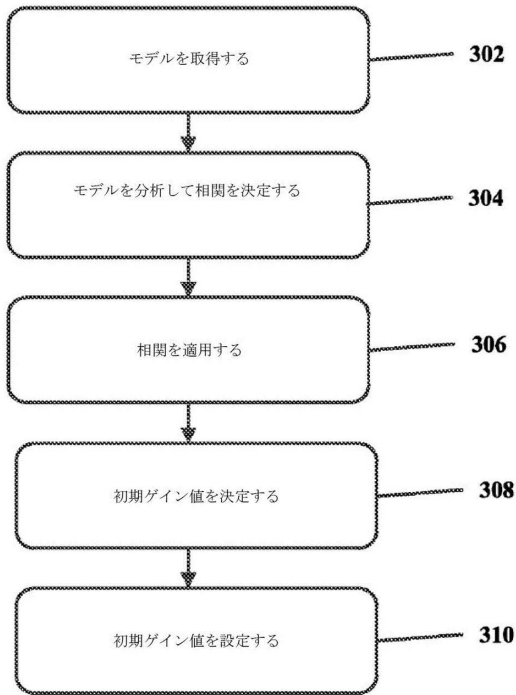
30

40

50

【図 5】

300



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

審査官 関口 貴夫

(56)参考文献

特開昭 6 2 - 1 9 8 4 2 9 (J P , A)

特開平 0 6 - 0 5 5 5 9 8 (J P , A)

米国特許第 0 6 1 0 8 5 8 7 (U S , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 1 7 9 2 8 8 (U S , A 1)

韓国登録特許第 1 0 - 0 6 6 1 2 1 9 (K R , B 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

B 2 9 C 4 5 / 0 0 - 4 5 / 8 4

B 2 2 D 1 7 / 3 2