

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4378011号
(P4378011)

(45) 発行日 平成21年12月2日(2009.12.2)

(24) 登録日 平成21年9月18日(2009.9.18)

(51) Int.Cl.

F 1

B 2 9 C 33/38 (2006.01)

B 2 9 C 33/38

請求項の数 18 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-1483 (P2000-1483)
 (22) 出願日 平成12年1月7日(2000.1.7)
 (65) 公開番号 特開2001-191336 (P2001-191336A)
 (43) 公開日 平成13年7月17日(2001.7.17)
 審査請求日 平成18年12月14日(2006.12.14)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100125254
 弁理士 別役 重尚
 (72) 発明者 伊藤 和彦
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

審査官 田口 昌浩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金型設計装置と金型形状の設計方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

成形加工法を施して成形品を製造するための金型の製作に先立ち、コンピュータ支援技術を使用して成形材料の流動解析を行い、金型の最適設計を行う金型設計装置であって、
 解析対象となる解析モデルの設計形状データ、成形条件及び成形加工に必要とされるデータを入力する入力手段と、

加工時間と応力緩和との関係を示し粘弾性試験で測定したデータを処理して得られる緩和弾性特性であって、粘弾性における温度変化の依存性を示す温度シフトファクタとともに粘弾性データを構成する緩和弾性特性を、ガラス転移点温度以下の固体物性試験とガラス転移点以上の熔融物性試験の2種類のデータを換算して繋ぎあわせ、室温から射出成形温度の範囲内で連続した曲線を描くことにより作成する緩和弾性特性作成手段と、

前記成形条件に基づいて前記解析モデルの温度分布を算出する温度分布算出手段と、

該温度分布算出手段の算出結果と緩和弾性特性とに基づいて前記解析モデルの収縮歪みと応力との関係を算出し、前記解析モデルの演算形状データを算出する演算形状データ算出手段と、

該演算形状データ算出手段による演算形状データの算出を適回数繰返し行って最適な成形条件を選択する最適成形条件選択手段と、

前記演算形状データ算出手段により算出された演算形状データと前記設計形状データとの誤差である収縮誤差量を算出する収縮誤差量算出手段と、

該収縮誤差量算出手段の算出結果に基づいて演算形状データを補正する形状補正手段と

10

20

を備えていることを特徴とする金型設計装置。

【請求項 2】

前記演算形状データ算出手段により算出される演算形状データは、前記温度シフトファクタを加味して算出されることを特徴とする請求項 1 記載の金型設計装置。

【請求項 3】

前記最適成形条件選択手段により選択された最適成形条件を記憶する最適化条件記憶手段とを有し、

前記形状補正手段は、前記収縮誤差量だけ金型形状を収縮補正すると共に、

前記収縮補正された金型形状について前記最適成形条件で演算形状データを算出することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の金型設計装置。

10

【請求項 4】

前記形状補正手段により補正された演算形状データが、前記解析モデルの設計形状データに対し許容範囲内か否かを判断する判断手段を備え、

該判断手段により前記許容範囲内であると判断されたときに該演算形状データを金型形状に決定する金型形状決定手段を有していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の金型設計装置。

【請求項 5】

解析対象を有限要素法によってシミュレーションするためにメッシュ分割してモデリングするモデリング手段を有していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の金型設計装置。

20

【請求項 6】

前記温度分布算出手段は、時間履歴に応じて微小時間における前記解析モデルの温度変化を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の金型設計装置。

【請求項 7】

前記演算形状データを可視表示する表示手段を有していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載の金型設計装置。

【請求項 8】

解析モデルは光学素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の金型設計装置。

【請求項 9】

30

前記成形加工法は、射出成形法、圧縮成形法、及び射出圧縮成形法を含むことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれかに記載の金型設計装置。

【請求項 10】

成形加工法を施して成形品を製造するための金型の製作に先立ち、コンピュータ支援技術を使用して成形材料の流動解析を行い、金型の最適設計を行う金型形状の設計方法であって、

解析対象となる解析モデルの設計形状データ、成形条件及び成形加工に必要とされるデータを入力する入力ステップと、

加工時間と応力緩和との関係を示し粘弾性試験で測定したデータを処理して得られる緩和弾性特性であって、粘弾性における温度変化の依存性を示す温度シフトファクタとともに粘弾性データを構成する緩和弾性特性を、ガラス転移点温度以下の固体物性試験とガラス転移点以上の熔融物性試験の2 種類のデータを換算して繋ぎあわせ、室温から射出成形温度の範囲内で連続した曲線を描くことにより作成する緩和弾性特性作成ステップと、

40

前記成形条件に基づいて前記解析モデルの温度分布を算出する温度分布算出ステップと、

前記温度分布と緩和弾性特性とに基づいて前記解析モデルの収縮歪みと応力との関係を算出し、前記解析モデルの演算形状データを算出する演算形状データ算出ステップと、

前記演算形状データの算出を適回数繰返し行って演算形状データの最適成形条件を選択する最適成形条件選択ステップと、

前記演算形状データ算出ステップで算出された前記演算形状データと前記設計形状デー

50

タとの誤差である収縮誤差量を算出する収縮誤差量算出ステップと、

前記収縮誤差量に基づいて演算形状データを補正する形状補正ステップとを含んでいることを特徴とする金型形状の設計方法。

【請求項 1 1】

前記演算形状データは、前記温度シフトファクタを加味して算出することを特徴とする請求項 1 0 記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 2】

前記最適成形条件を記憶し、前記収縮誤差量だけ金型形状を収縮補正すると共に、

前記収縮補正された金型形状について前記最適成形条件で演算形状データを算出することを特徴とする請求項 1 0 又は請求項 1 1 記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 3】

前記補正された演算形状データが、前記解析モデルの設計形状データに対し許容範囲内か否かを判断し、

前記演算形状データが前記許容範囲内であると判断されたときに該演算形状データを金型形状に決定することを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 2 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 4】

解析対象を有限要素法によってシミュレーションするためにメッシュ分割してモデリングすることを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 3 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 5】

前記温度分布は、時間履歴に応じて微小時間における前記解析モデルの温度変化を算出することを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 4 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 6】

前記演算形状データを表示手段に可視表示することを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 5 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 7】

解析モデルは光学素子であることを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 6 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【請求項 1 8】

前記成形加工法は、射出成形法、圧縮成形法、及び射出圧縮成形法を含むことを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 7 のいずれかに記載の金型形状の設計方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は金型設計装置と金型形状の設計方法に関し、より詳しくは、C A E (Computer Aided Engineering: 「コンピュータ支援技術」) を使用して有限要素法により成形材料の流動解析を行い、金型形状を最適化設計する金型設計装置と金型形状の設計方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光学素子としてのプラスチックレンズなどの精密部品を射出成形法、射出圧縮成形法、圧縮成形法等の成形加工法を利用して製造することが行われている。

【0003】

そして、この種の光学素子を製造するための成形用金型を製作する場合、成形材料が温度変化等により収縮することを予め見込んで、成形品の所望寸法(設計寸法)より前記収縮率分だけ大きなキャピティ寸法を有する試験用金型を製作し、射出温度や射出時間等の成形条件を最適化した後、前記試験用金型を使用して所定の成形加工を行って成形品を製作し、次いで成形加工された成形品の各部寸法を測定して所望の形状寸法との誤差量を算出

10

20

30

40

50

し、その後試験用金型のキャピティ寸法を前記誤差量だけ反収縮方向に大きくなるように補正加工を施し、これにより実際の成形加工に使用する成形用金型の製作を行っていた。このため、一眼レフカメラ用のレンズのように要求精度の厳しい精密部品の場合は、1回の金型補正加工では所望の要求寸法を充足することはできないことが多く、前記要求寸法を充足するまで、成形加工 成形品の寸法測定 誤差量の算出 金型補正加工という一連の工程を繰り返していた。

【0004】

そこで、このような金型補正工程を削減することができる技術として、成形品の実測データに基づいて成形品とその成形面の形状回帰曲線を求め、これらから成形材料の収縮量を算出し、該収縮量に基づいて成形品の形状誤差を補正・吸収することのできる新たな形状回帰曲線を求め、該形状回帰曲線からNCデータを作成するようにした金型形状設計装置が既に提案されている（例えば、特開平5-96572号公報；以下、「第1の従来技術」という）。

10

【0005】

該第1の従来技術によれば、収縮量を正確に予測することができた場合は、無駄な金型補正作業を必要とせず、また金型の設計開発期間も大幅に短縮でき、しかも金型の製作に要する費用も大幅に削減できると考えられる。

【0006】

また、他の従来技術としては、金型内の成形材料の溶融相のつながりが断たれる時点特定して該時点の温度分布を初期温度とし、成形品が一樣に室温となるまでの温度変化を熱荷重として有限要素法により熱応力歪みを解析し、成形形状歪み、すなわち変形量を算出するようにした成形プロセスシミュレーションシステムも既に提案されている（例えば、特公平6-22840号公報；以下、「第2の従来技術」という）。

20

【0007】

該第2の従来技術によれば、金型の特定場所の温度が流動停止温度、又は固化温度、ガラス転移温度などの溶融相のつながりが断たれる時点の温度分布を初期温度とすると共に、該初期温度から成形品を取出す取出温度までを細分化し、該細分化した微小温度範囲内でその温度範囲に対応する温度依存性物性データ（線膨張係数、比熱 c 、熱伝導率 k 等）を使用して熱応力歪みを算出し、該熱応力歪みを累積させてその累積総和を最終的な全温度領域における変形量として算出し、これにより、実機の製作に先立って成形材料や金型構造、成形条件が成形形状歪みに与える影響を評価することができ、したがって金型形状の設計を試行錯誤的に行う必要がなくなり、新規金型の開発・設計に要する時間や費用を大幅に削減できると考えられる。

30

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記第1の従来技術では、成形品の実測データに基づいて形状回帰曲線を求めているため、所望寸法の成形品を製造するための成形用金型を製作する前に試験用金型を製作しなければならず、開発期間が長期化し、しかも開発コストも高くなるという問題点があった。

【0009】

すなわち、今日では製品のライフサイクルも短縮化してきているため、設計段階から製品完成までに要する開発期間の大幅な短縮が要求されているが、上記第1の従来技術では、試験用金型を製作した後に該試験用金型を使用して成形品を製造し、安定的に成形できるような成形条件の最適化を行った上で前記試験用金型で製造された成形品の各部寸法を測定し、該測定データに基づいて形状回帰曲線を得ているため、作業工程が煩雑であって開発期間に長期間を要し、しかも開発コストも高くなるという問題点があった。

40

【0010】

また、上記第2の従来技術では、初期温度から成形品の取出温度までの間、成形品全体が一樣に冷却されることを前提として成形品の変形解析を行っており、したがって冷却過程と時間との関係が考慮されていないため、冷却勾配や成形サイクルが大きく異っても解析

50

結果が同一となり、必ずしも実際の現象とは一致しない解析結果が得られるという問題点があった。

【 0 0 1 1 】

すなわち、例えば、成形品を 250 から 90 まで冷却する場合、冷却過程に時間が考慮されていないため、上記第 2 の従来技術では、1 秒で冷却した場合であっても 100 時間を要して冷却した場合であっても同一の解析結果が得られる。つまり、第 2 の従来技術では、例えば、成形品のゲート部が固化温度になると該固化温度を初期温度として解析しているが、同一成形品であってもゲート部とその他の部位とでは温度分布にバラツキがあり（成形品内には温度 150 の箇所や温度 90 の箇所もあり得る）、しかも該初期温度から室温までの温度差と線膨張係数とに基づいて熱応力歪みが演算されているため、1 秒で冷却した場合であっても 100 時間を要して冷却した場合であっても同一の熱応力歪みが得られる。一方、実際の現象としては、内部の温度差は成形品全体が室温まで冷却される間に内部伝導によって時間と共に小さくなるため、1 秒で冷却した場合と 100 時間を要して冷却した場合とでは最終形状に大きな差が生じる。

10

【 0 0 1 2 】

すなわち、初期温度と最終温度が同じでも冷却時間の長短や冷却勾配の大小などの冷却履歴や圧力履歴により成形品の変形量が大きく異なる。このため、上記第 2 の従来技術のように時間の概念を考慮せずに熱応力歪みの解析を行っても実際の現象とは一致せず、したがって成形品の歪みを事前に予測して所望の成形品を得ることが可能な金型を製作することは困難であるという問題点があった。

20

【 0 0 1 3 】

さらに、上記第 2 の従来技術では、前記初期温度と成形品の取出温度の差分から熱応力歪みを算出するか、或いは成形品を取り出した後に成形品全体が均一温度（例えば、室温）になるまでの温度差から熱応力歪みを算出しており、したがって成形品全体が均一に冷却されることを前提として解析しているの、初期温度以降の冷却履歴とは無関係に初期温度の温度分布（温度差）によって熱応力歪みが算出されることとなる。

【 0 0 1 4 】

しかしながら、一眼レフカメラやビデオテープレコーダー（VTR）、あるいはレーザービームプリンタに使用される高精度な光学素子では、光学機能面の形状転写精度が 1 μ m 以下を要求されることも多く、斯かる要求精度の厳しい光学素子では局所的な数 μ m のヒケが性能上重要となり、したがって、全体が一様に収縮することが前提とした上記第 2 の従来技術では、所望の高精度な形状予測をすることは困難であるという問題点があった。

30

【 0 0 1 5 】

本発明はこのような問題点に鑑みなされたものであって、金型形状の高精度な形状シミュレーションを短期間で行うことにより、金型形状の最適化設計を容易に行うことができる金型設計装置と金型形状の設計方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 6 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため本発明に係る金型設計装置は、成形加工法を施して成形品を製造するための金型の製作に先立ち、コンピュータ支援技術を使用して成形材料の流動解析を行い、金型の最適設計を行う金型設計装置であって、解析対象となる解析モデルの設計形状データ、成形条件及び成形加工に必要とされるデータを入力する入力手段と、加工時間と応力緩和との関係を示し粘弾性試験で測定したデータを処理して得られる緩和弾性特性であって、粘弾性における温度変化の依存性を示す温度シフトファクタとともに粘弾性データを構成する緩和弾性特性を、ガラス転移点温度以下の固体物性試験とガラス転移点以上の溶融物性試験の 2 種類のデータを換算して繋ぎあわせ、室温から射出成形温度の範囲内で連続した曲線を描くことにより作成する緩和弾性特性作成手段と、前記成形条件に基づいて前記解析モデルの温度分布を算出する温度分布算出手段と、該温度分布算出手段の算出結果と緩和弾性特性とに基づいて前記解析モデルの収縮歪みと応力との関係を算出し、前記解析モデルの演算形状データを算出する演算形状データ算出手段と、該演算形状

40

50

データ算出手段による演算形状データの算出を適回数繰返し行って最適な成形条件を選択する最適成形条件選択手段と、前記演算形状データ算出手段により算出された演算形状データと前記設計形状データとの誤差である収縮誤差量を算出する収縮誤差量算出手段と、該収縮誤差量算出手段の算出結果に基づいて演算形状データを補正する形状補正手段とを備えていることを特徴とする。

【0017】

また、本発明に係る金型形状の設計方法は、成形加工法を施して成形品を製造するための金型の製作に先立ち、コンピュータ支援技術を使用して成形材料の流動解析を行い、金型の最適設計を行う金型形状の設計方法であって、解析対象となる解析モデルの設計形状データ、成形条件及び成形加工に必要とされるデータを入力する入力ステップと、加工時間と応力緩和との関係を示し粘弾性試験で測定したデータを処理して得られる緩和弾性特性であって、粘弾性における温度変化の依存性を示す温度シフトファクタとともに粘弾性データを構成する緩和弾性特性を、ガラス転移点温度以下の固体物性試験とガラス転移点以上の熔融物性試験の2種類のデータを換算して繋ぎあわせ、室温から射出成形温度の範囲内で連続した曲線を描くことにより作成する緩和弾性特性作成ステップと、前記成形条件に基づいて前記解析モデルの温度分布を算出する温度分布算出ステップと、前記温度分布と緩和弾性特性とに基づいて前記解析モデルの収縮歪みと応力との関係を算出し、前記解析モデルの演算形状データを算出する演算形状データ算出ステップと、前記演算形状データの算出を適回数繰返し行って演算形状データの最適成形条件を選択する最適成形条件選択ステップと、前記演算形状データ算出ステップで算出された前記演算形状データと前記設計形状データとの誤差である収縮誤差量を算出する収縮誤差量算出ステップと、前記収縮誤差量に基づいて演算形状データを補正する形状補正ステップとを含んでいることを特徴とする。

【0018】

尚、本発明の他の特徴は、下記の発明の実施の形態により明らかとなる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳説する。

【0020】

図1は本発明に係る金型設計装置の一実施の形態を示すブロック構成図であって、該金型設計装置は、各種設計形状データや物性値データが入力されるデータ入力部1と、該データ入力部1に入力された入力データに基づいて形状最適化のための各種演算処理を行うと共に装置全体の制御を司る演算制御部2と、該演算制御部2で演算処理された演算結果を記憶する記憶部3と、個々の演算結果を表示する表示部4とから構成され、有限要素法を利用してCAEによる形状シミュレーションを行い、金型形状の最適設計を行う。

【0021】

演算制御部2は、データ入力部1に入力された入力データに基づいて熱伝導解析を行い温度分布を算出する温度分布演算部2aと、該温度分布演算部2aの演算結果及びデータ入力部1に入力された粘弾性データに基づいて熱収縮による収縮歪みを算出する収縮歪み演算部2bと、データ入力部1で入力された設計形状データと収縮歪み演算部2bで算出された演算結果の形状データとの偏差を算出する形状偏差演算部2cと、該形状偏差演算部2cの演算結果を評価する形状偏差評価部2dと、有限要素法解析における各節点の収縮ベクトルの方向及び収縮量（設計値との誤差）を算出する収縮誤差量演算部2eと、必要に応じ前記収縮量だけ収縮ベクトルの方向と反対方向に形状データを補正するデータ補正部2fとを有している。

【0022】

また、記憶部3は、データ入力部1に入力された入力データを記憶する入力データ記憶部3aと、算出された温度分布や収縮歪み、更には形状偏差や収縮誤差量等、各種演算結果を記憶する演算結果記憶部3bと、形状誤差が最適化されたときの解析に使用した成形条件等、最適解析条件を記憶する最適条件記憶部3cとを有している。

【 0 0 2 3 】

次に、光学軸を対称面とする軸対称三次元モデルを解析モデルとし、光学素子としてのプラスチックレンズ（以下、単に「レンズ」という）を射出成形により製造する場合の金型形状の設計方法を詳述する。

【 0 0 2 4 】

図 2 は前記金型形状の設計方法の処理手順の一実施の形態を示すフローチャートである。尚、本実施の形態では、金型材料としてウッドホルム社製 R A M A X、成形材料として P M M A（ポリメタクリル酸メチル）を使用する。

【 0 0 2 5 】

ステップ S 1 では金型形状（キャビティ形状）の決定要因となる成形品の形状データ、拘束条件、圧力条件、冷却条件、物性データ、P（圧力）- V（比容積）- T（温度）データ（状態変化データ）、粘弾性データ等の入力データをデータ入力部 1 から入力する。

10

【 0 0 2 6 】

すなわち、まず、系を有限要素法で取り扱えるようにするために形状全体を微細領域に分割して要素を作成し、金型形状や成形品形状を表現する節点座標、節点番号、要素番号等の形状データを入力する。尚、演算回数を減らして効率を上げるために、本実施の形態では、設計寸法よりも成形材料（P M M A）の収縮率分だけ大きな寸法データが金型寸法として入力される。具体的には、金型寸法は、設計寸法の 1.006 倍のデータが入力され、入力データ記憶部 3 a に記憶される。

20

【 0 0 2 7 】

次に、有限要素解析の演算に必要な所定の拘束条件を入力し、さらに成形加工の加工条件を最適化するための初期値となる圧力条件と冷却条件を入力し、入力データ記憶部 3 a に記憶する。本実施の形態では、圧力条件の初期値として成形圧力を 85 M P a、冷却条件の初期値として、射出温度を 260、一次冷却水温度を 114、一次冷却時間を 10 分、二次冷却水温度を 80、二次冷却時間を 8 分に夫々設定し、斯かる圧力条件及び冷却条件をデータ入力部 1 に初期値として入力し、入力データ記憶部 3 a に記憶する。尚、実際の射出成形加工では、二次冷却が終了した時点で成形品は金型から取出されて室温（例えば、20）まで空冷される。

【 0 0 2 8 】

次いで、成形材料と金型材料の温度依存性物性データを入力し、入力データ記憶部 3 a に記憶する。具体的には、成形材料（P M M A）については、熱伝導率 k が $2.09 \times 10^{-4} \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ 、比熱 c が $1.66 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$ 、密度 が $1.15 \times 10^3 \text{ kg / m}^3$ であり、金型材料（ウッドホルム社製 R A M A X）については、熱伝導率 k が $2.28 \times 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$ 、比熱 c が $0.46 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$ 、密度 が $7.78 \times 10^3 \text{ kg / m}^3$ であるから、これらの物性データをデータ入力部 1 に入力し、入力データ記憶部 3 a に記憶する。

30

【 0 0 2 9 】

次に、成形材料の P V T データを入力する。そして、線膨張係数 は数式（1）で表わされることから、該 P V T データに基づき線膨張係数 を算出して線膨張係数マップ（P, T）を作成し、該線膨張係数マップ（P, T）を入力データ記憶部 3 a に記憶する。

40

【 0 0 3 0 】

$$= (dV / dT)_P / V \quad \dots (1)$$

図 3 は入力データ記憶部 2 a に記憶される線膨張係数マップ（P, T）であって、横軸は温度 T（）、縦軸は線膨張係数（ K^{-1} ）を示し、図中の特性は、夫々、圧力が 40 M P a、80 M P a、120 M P a、160 M P a、200 M P a 及び 240 M P a のときの各温度（）における線膨張係数（ K^{-1} ）を示している。

【 0 0 3 1 】

さらに、データ入力部 1 には粘弾性データが入力される。粘弾性データは、粘弾性試験機で測定したデータを処理して得られる緩和弾性特性と粘弾性における温度変化の依存性を示す温度シフトファクタ $A(T)$ とからなり、これら粘弾性データが入力データ記憶部 3

50

aに記憶される。具体的には、緩和弾性特性は、ガラス転移点温度以下の固体物性試験とガラス転移点以上の熔融物性試験の2種類のデータを換算して繋ぎあわせ、室温（例えば、20）から射出成形温度（例えば、300）の範囲内で連続した曲線を描くことにより、図4に示すように、例えば基準温度90のときの緩和弾性特性（時間t～緩和弾性係数G（t））が作成され、該緩和弾性特性がマスターカーブとして入力データ記憶部3aに記憶され、これにより熔融温度域から固化領域に至るまでの間での固化初期状態の設定を不要としている。尚、温度シフトファクタA（T）も上述した粘弾性試験機で測定したデータに基づいて各温度毎に得られる。

【0032】

次に、ステップS2では周知の熱伝導解析を行って温度分布を求める。

10

【0033】

すなわち、一般に非定常非線形の熱伝導方程式は数式（2）で表わされることが知られている。

【0034】

【数1】

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q \quad \cdots (2)$$

20

ここで、Qは発熱量、tは時間、x、y、zは各座標成分を夫々示している。

【0035】

数式（2）を有限要素法により離散化し、ガラーキン法により積分した後、全要素を加算し、さらに時間につき差分すると数式（3）が得られる。

【0036】

$\{ ([K] / 2) + ([C] / \Delta t) \} \cdot \{ T(t + \Delta t) \} = \{ (-[K] / 2) + ([C] / \Delta t) \} \cdot \{ T(t) \} + \{ F \} \quad \cdots (3)$
 ここで、[K] = [k]、[C] = [c]、{F} = {f}であり、[k]は熱伝導マトリックス、[c]は熱容量マトリックス、{f}は熱流束ベクトル、{T(t)}は節点温度ベクトル、Δtは時間刻みを示している。

30

【0037】

そして、{T(t)}は初期値として与えられるので、{T(t + Δt)}を逐次算出することができ、これにより温度分布を算出することができる。

【0038】

次いで、ステップS3では応力緩和を考慮しながらステップS2で得られた温度分布に基づいて収縮歪みを算出する。

【0039】

ここで、応力緩和とは、成形品に一定の歪みを加えた場合、成形材料の粘弾性特性により時間の経過と共に成形品に発生する応力が低下してゆく現象をいう。そして、粘弾性材料における応力歪み式は、一般に、履歴積分形式で表現され、応力緩和を考慮した場合、最終的には数式（4）で表わされる。

40

【0040】

【数2】

$$\Delta \sigma(t_m) = \left[G(0) - \sum_{n=1}^N \{ 1 - \beta^n(h) \} G(n) \right] \Delta \varepsilon(t_m) - \sum_{n=1}^N \alpha^n(h) \sigma(n)(t_m - h) \quad \cdots (4)$$

ここで、t_mは時刻、hは時間ステップ（= t_m - t_{m-1}）、σ(t_m)は時刻t_mにおける応力の増分、ε(t_m)は時刻t_mにおける歪みの増分を示す。また、G(0)は時間「0」における緩和弾性係数、G(n)は時間nにおける緩和弾性係数を示し、図4の緩

50

和弾性特性マップを検索し、さらに温度シフトファクタ $A(T)$ を加味して算出される。

【0041】

また、 $\alpha^n(h)$ 、 $\beta^n(h)$ は数式(5)、(6)で表わされる。

【0042】

【数3】

$$\alpha^n(h) = 1 - \exp(-h/\lambda)^n \quad \dots(5)$$

$$\beta^n(h) = \alpha^n(h) \lambda^n / h \quad \dots(6)$$

10

尚、 λ は緩和係数である。

【0043】

したがって、このようにして時間と温度の変化率に応じて応力 - 歪み関係を算出することができ、冷却時間や冷却温度の差に起因して生じ得る収縮歪みが評価され、その演算結果が演算結果記憶部3bに記憶される。

【0044】

次いで、ステップS4では、前記演算結果を光学面(球面)の面精度として表示部4に表示する。

【0045】

図5はステップS4で表示された光学面であって、解析対象であるレンズを或る特定の「R」に設定したときの干涉縞を示している。このシミュレーション結果により、図中、A部で示すように、成形条件を上述した初期値に設定して射出成形を行った場合は、光学面上で縞が大きく曲がり、所謂「クセ」が顕著に発生する。また、図5では示されていないが測定時のRを変更することにより干涉縞が変化することが確認され、したがって所謂「Rズレ」も発生していると考えられる。

20

【0046】

そして、続くステップS5では設計形状と演算結果記憶部3bに記憶されている形状との偏差を算出し、その算出結果を演算結果記憶部3bに記憶すると共に、ステップS6で形状偏差が最適か否かを判断する。今回ループ(第1回目)では、上述したように「Rズレ」と「クセ」が発生しているため、最適成形条件ではないと判断し、再びステップS1に戻り、圧力条件及び冷却条件を再入力する。

30

【0047】

すなわち、Rズレは収縮量で決定されるため成形条件の変更では対応することが困難であるため、ステップS1では、クセ量に着目し、該クセ量を小さくすることを目的として成形条件を変更する。本実施の形態では、一次冷却水温度を116℃に上げ、他の条件は前回と同一条件(成形圧力85MPa、一次冷却時間10分、二次冷却水温度80℃、二次冷却時間8分)に設定し、斯かる成形条件をデータ入力部1に入力する。そして、ステップS2、ステップS3で上述と同様の処理を繰り返し、ステップS4で図6に示すように、第2回目の演算結果を表示部4に表示する。

【0048】

40

次いで、再計算された演算結果形状と設計形状との形状誤差を演算して演算結果記憶部3bに記憶する。そして、ステップS6では形状誤差が最適か否かを判断する。図6は、図5に比べてクセ量は減少しているものの「0」にはなっていないため、再度ステップS1に戻り、成形条件を変更して上述の処理を繰り返す。今回、すなわち第3回目は一次冷却水温度のみを例えば118℃に設定し直し、他の条件を前回と同一条件(成形圧力85MPa、一次冷却時間10分、二次冷却水温度80℃、二次冷却時間8分)に設定し、斯かる成形条件をデータ入力部1に再入力し、再度ステップS2、ステップS3の処理ステップを実行し、ステップS4で第3回目の演算結果を表示部4に表示する。

【0049】

そして、図4～図6の面精度から明らかなように第2回目の成形条件(図5)が設計形状

50

と演算結果の偏差が最小となり、最適であることが分かる。従って、ステップ S 6 では 3 つの成形条件から第 2 回目の成形条件（圧力条件及び冷却条件）、すなわち、成形圧力 85 MPa、射出温度 260、一次冷却水温度 116、一次冷却時間 10 分、二次冷却水温度 80、二次冷却時間 8 分を最適成形条件として選択し、該最適成形条件を最適成形条件記憶部 3 c に記憶する。尚、このとき、有限要素分割された解析モデルの節点の移動するベクトル、すなわち収縮方向と大きさ（収縮量）等の演算形状データが最適条件記憶部 3 c に記憶される。

【 0 0 5 0 】

次に、上述した R ズレを補正すべく、ステップ S 7 に進み、各節点の収縮ベクトルの方向と大きさの設計値と演算結果との誤差を収縮誤差量演算部 2 e で算出する。

10

【 0 0 5 1 】

図 8 は解析に使用したメッシュ図であって、5 は固定金型、6 が可動金型、7 はレンズであり、固定金型 5 及び可動金型 6 には急冷用冷却管 8 と徐冷用冷却管 9 が設けられ、該急冷用冷却管 8 と徐冷用冷却管 9 とでレンズ 7 を冷却している。

【 0 0 5 2 】

図 9 は上記メッシュ図のレンズ近傍を拡大した要部拡大図であって、成形されたレンズ 7 の表面が収縮によって両金型 5、6 から離れていることを表わしている。

【 0 0 5 3 】

図 10 は金型形状と成形品であるレンズの表面形状との関係を示した図であって、10 は金型表面を構成する有限要素メッシュの節点、11 は成形材料が射出されて金型キャビティに充填されたときに節点 10 と同一座標のレンズ表面を構成する有限要素メッシュの節点である。射出充填された成形材料は、充填当初は金型キャビティ内壁と接触しているが、冷却が進行するにしたがって収縮し金型内壁表面を滑りながら分離していき、最終的には図 10 の節点 11 に示すように金型形状よりも小さな形状に成形される。すなわち、充填当初は金型表面を構成する節点 10 にあったレンズ表面の節点は符号 11 に示す位置に移動し、矢印 D に示すように、節点 10 から節点 11 の方向を指し示す収縮ベクトルが得られる。つまり、金型を設計する際に設定した収縮率が正確であれば節点 10 の位置がレンズの設計形状になっているが。実際には収縮率を正確に設定することは困難であり、誤差量としての収縮ベクトル D が算出され、斯かる誤差量が形状誤差量演算部 2 e で得られる。

20

30

【 0 0 5 4 】

次に、ステップ S 8 に進み、形状誤差量だけ反収縮方向に金型表面の節点を補正する。

【 0 0 5 5 】

すなわち、図 11 において、点線 12 はレンズ 6 の所望設計形状、5 a は固定金型 5 の表面形状、6 a はレンズ 6 の現時点における表面形状、13 はレンズ 6 の表面における有限要素メッシュの節点、14 は固定金型 5 の表面における有限要素メッシュの節点、15 は節点 14 と節点 13 とを結ぶ収縮ベクトル D と所望設計形状 12 の交差点であり、次回演算での目標座標となる。16 は前記収縮ベクトル D と反対方向に収縮量 A だけ移動させた座標であり、次回演算時の金型形状を示している。すなわち、成形によってレンズ 6 が収縮した収縮量は節点 14 と節点 13 との距離、すなわち収縮ベクトルに合致すると、設計形状との形状誤差を規格内とするために、交差点 15 と節点 13 との距離である収縮量 A だけに収縮ベクトル D の反対方向の延長線上に固定金型 5 の形状線を移動させ、新しい解析モデルの形状 17 を決定する。また、可動金型 7 とレンズ 6 についても同様の処理を行う。

40

【 0 0 5 6 】

このようにして求めた金型形状に解析モデルを修正して、再度最適条件記憶部 3 c に記憶されている成形条件にしたがって温度分布の演算（ステップ S 9）、応力緩和を考慮した収縮歪みを時間と温度に応じて算出し（ステップ S 10）、設計形状と成形レンズとの形状偏差を算出する（ステップ S 11）。そして、斯く算出された形状偏差が所定の規格内にあるか否かを判断し、その答が否定（No）のときはステップ S 8 に戻って上述した処

50

理を繰り返す一方、ステップ S 1 1 の答が肯定 (Y e s)、例えば、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の場合はステップ S 1 3 で理想の金型形状が得られたとして出力し、処理を終了する。

【 0 0 5 7 】

このように本実施の形態によれば、冷却時間や冷却サイクルの相違を考慮して金型形状の最適化をシミュレーションすることができるので、試験用金型を製作して成形作業を行わなくとも短期間で高精度な金型形状を決定することができる。

【 0 0 5 8 】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、時間の経過と共に変化する緩和弾性特性を考慮して収縮歪みを評価し、成形条件を決定し、且つ成形品の収縮状態に対応して金型の形状を補正しているので、試験用金型を製作することなく所望の高精度な金型形状を有する金型の最適設計を容易に短期間で行うことができる。

10

【 0 0 5 9 】

また、実際に金型を製作する前に精度予測、設備能力の予測を行うことができるので、機械的な仕上げ作業の繰り返しである金型の補正作業を行う必要がなくなり、経済的にも時間的にも多大な負荷軽減が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る金型形状設計装置のブロック構成図である。

【図 2】本発明に係る金型形状の設計方法の処理手順を示すフローチャートである。

【図 3】P V T データより得られる線膨張係数マップである。

20

【図 4】緩和弾性係数の特性図である。

【図 5】第 1 の成形条件でシミュレートして得られる光学面の干渉縞を示す例である。

【図 6】第 2 の成形条件でシミュレートして得られる光学面の干渉縞を示す例である。

【図 7】第 3 の成形条件でシミュレートして得られる光学面の干渉縞を示す例である。

【図 8】解析メッシュ図である。

【図 9】解析メッシュの要部拡大図である。

【図 1 0】金型形状と成形されたレンズの表面形状の関係を示す説明図である。

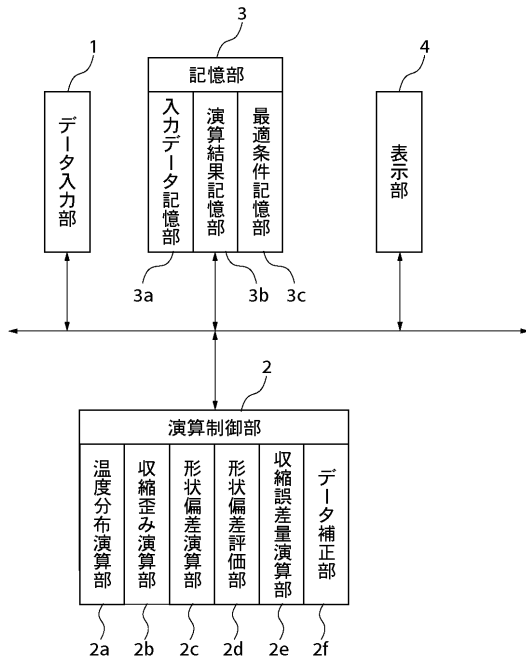
【図 1 1】解析モデルの形状補正を説明する説明図である。

【符号の説明】

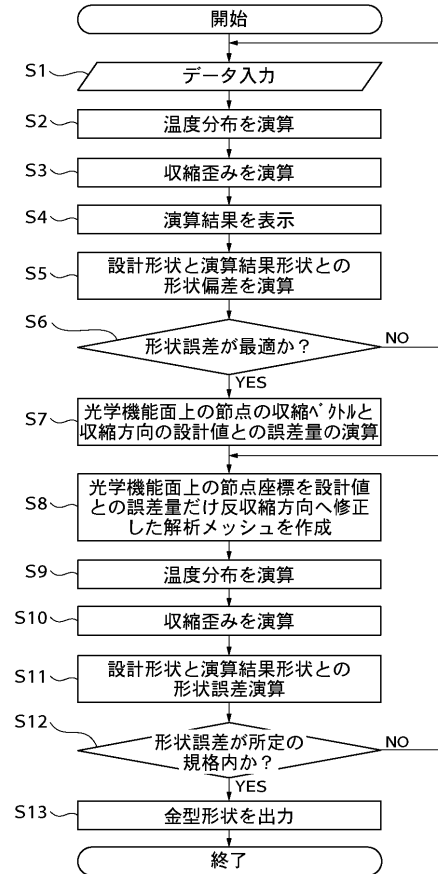
- 1 データ入力部 (入力手段)
- 2 a 温度分布演算部 (温度分布算出手段)
- 2 b 収縮歪み演算部 (演算形状データ算出手段)
- 2 e 収縮誤差量演算部 (収縮誤差量算出手段)
- 2 d 形状偏差評価部 (最適成形条件選択手段)
- 2 f データ補正部 (形状補正手段)
- 3 a 入力データ記憶部 (緩和弾性特性作成手段)
- 3 c 最適条件記憶部 (最適化条件記憶手段)
- 4 表示部 (表示手段)

30

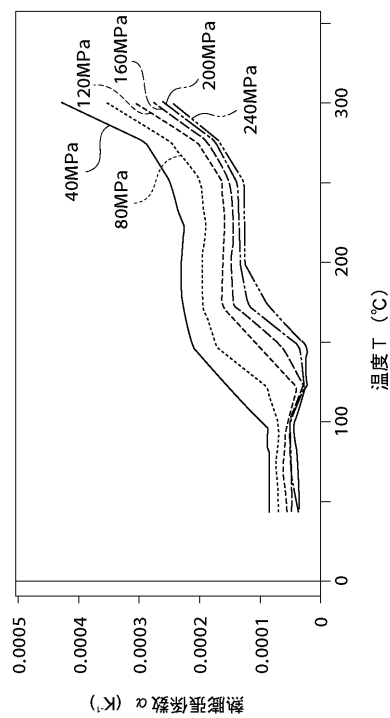
【図 1】



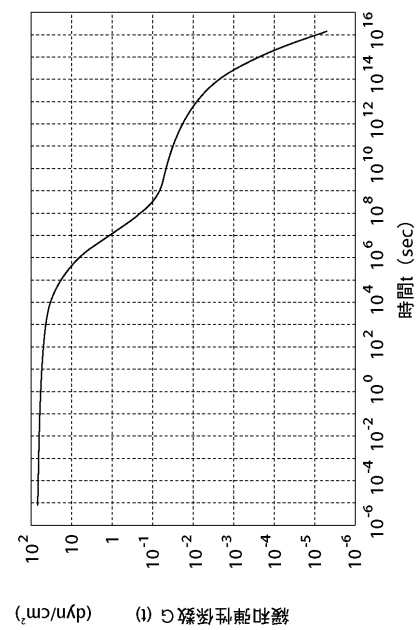
【図 2】



【図 3】



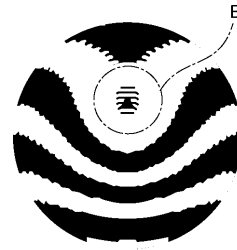
【図 4】



【図 5】



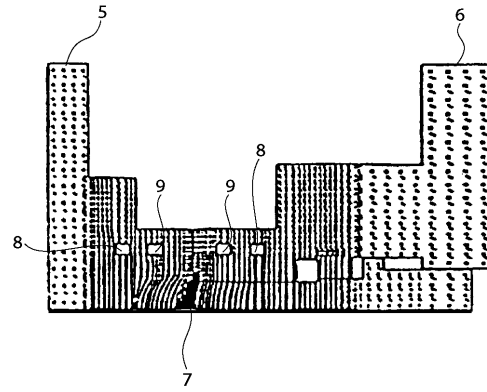
【図 7】



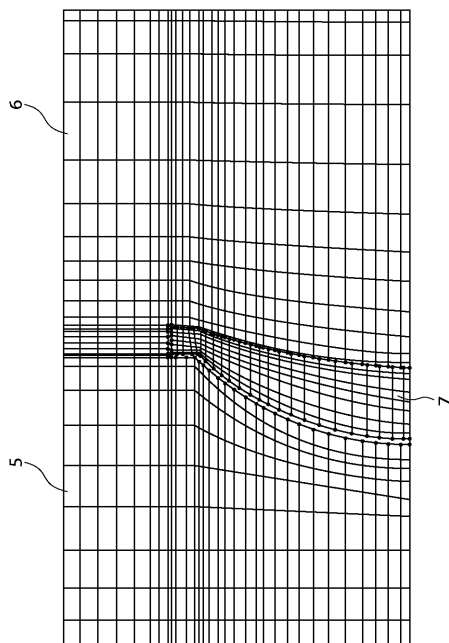
【図 6】



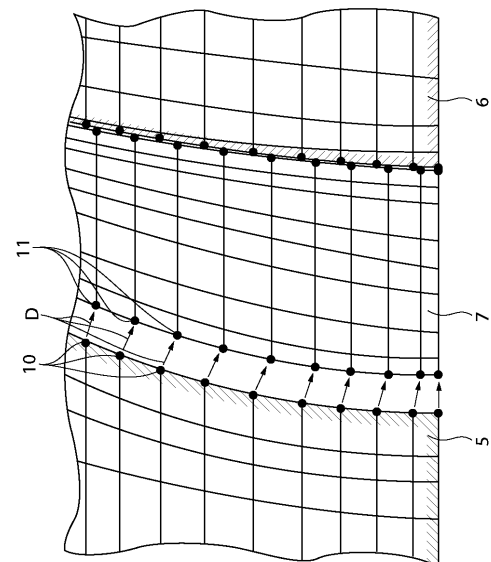
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭 6 2 - 0 3 4 2 8 2 (J P , A)
特開平 0 6 - 0 4 8 7 5 0 (J P , A)
特開平 0 7 - 0 0 9 5 2 2 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 5 6 8 8 5 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 3 8 3 1 2 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 7 8 0 8 5 (J P , A)
特開平 0 2 - 2 5 8 2 2 9 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 2 4 2 7 5 (J P , A)
特開平 0 5 - 0 9 6 5 7 2 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 1 0 4 4 0 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B29C 33/00 ~ 33/76