

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4107686号

(P4107686)

(45) 発行日 平成20年6月25日 (2008. 6. 25)

(24) 登録日 平成20年4月11日 (2008. 4. 11)

(51) Int. Cl.

B29C 67/00 (2006.01)

F I

B29C 67/00

請求項の数 9 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願平11-500874	(73) 特許権者	ストラタシース, インコーポレイテッド
(86) (22) 出願日	平成10年5月28日 (1998. 5. 28)		アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-
(65) 公表番号	特表2002-500584 (P2002-500584A)		2020, エデン プレイリー, マーチン
(43) 公表日	平成14年1月8日 (2002. 1. 8)		ドライブ 14950
(86) 国際出願番号	PCT/US1998/010811	(74) 代理人	名古屋国際特許業務法人
(87) 国際公開番号	W01998/053974	(74) 代理人	弁理士 山本 秀策
(87) 国際公開日	平成10年12月3日 (1998. 12. 3)	(72) 発明者	バチエルダー, ジョン サミュエル
審査請求日	平成14年1月23日 (2002. 1. 23)		アメリカ合衆国 ニューヨーク 1058
(31) 優先権主張番号	08/862, 933		9, ソマース, キャンベル ドライブ 2
(32) 優先日	平成9年5月29日 (1997. 5. 29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体モデルのラピッドプロトタイピング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御システムの制御下で所定の形状の3次元の物理的物体を作製する方法であって、該方法は、熱凝固性材料を使用するものであり、該熱凝固性材料は、該熱凝固性材料が凝固する第1の温度であって、第1の応力緩和係数を該熱凝固性材料が示す第1の温度と、該第1の応力緩和係数の10%である第2の応力緩和係数を該熱凝固性材料が示す第2の温度とを有しており、

該方法は、

a) 流体状態の該熱凝固性材料を、押し出し機から、新たに堆積される材料の近傍の領域である局所領域に分配するステップであって、該局所領域は、該熱凝固性材料の該第1の温度と該第2の温度との間の局所領域温度を少なくとも有する、ステップと、

b) 該熱凝固性材料の分配と同時に、かつ、該制御システムに応答して、該熱凝固性材料が該局所領域のサポート上に蓄積して3次元の物理的物体を形成するように該押し出し機と該サポートとの間の相対移動を引き起こすステップと、

c) 該熱凝固性材料を該材料の該第1の温度よりも低い温度に冷却することにより、該熱凝固性材料を凝固させるステップと

を包含する、方法。

【請求項 2】

前記熱凝固性材料が、ガラス遷移温度を示す熱可塑性物質である、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記局所領域温度が、少なくとも前記ステップ b) の間、前記ガラス遷移温度よりも低い、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記局所領域が、少なくとも最も新しく堆積された前記熱凝固性材料の層を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記ステップ c) の間に前記局所領域および前記材料を該材料の前記第 1 の温度よりも低い温度に冷却すると同時に、温度勾配が、しきい値よりも小さい値に維持される、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記熱凝固性材料が、アクリロニトリルブタジエンスチレンである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

所定の形状の 3 次元の物理的物体を作製する方法であって、

a) 該 3 次元の物理的物体の該所定の形状をつくるために必要とされるコマンドのシーケンスを計算するステップと、

b) 流体状態の熱凝固性材料を、押し出し機から、該コマンドのシーケンスにより限定される形成環境に分配するステップと、

c) 該ステップ b) の間、少なくとも新しく堆積される材料の近傍で、該形成環境を、該熱凝固性材料が凝固する第 1 の温度であって、該熱凝固性材料が第 1 の応力緩和係数を示す第 1 の温度と、該熱凝固性材料が該第 1 の応力緩和係数の 10% である第 2 の応力緩和係数を示す第 2 の温度との間の温度範囲内に維持するステップと、

20

d) 該分配ステップ b) と同時に、かつ、該コマンドのシーケンスにตอบสนองして、該材料が蓄積して該 3 次元の物理的物体を形成するように該押し出し機と該形成環境との間の相対移動を機械的に引き起こすステップと、

e) 該ステップ d) と同時に、追加の凝固性材料がその上に蓄積した該凝固性材料が該凝固性材料の該第 1 の温度よりも低い温度に冷却されるように該形成環境内の温度を差別的に調整するステップと、

f) 該物体を該第 1 の温度よりも低い温度に冷却することにより、該物体をさらに凝固させるステップと

30

を包含する、方法。

【請求項 8】

前記熱凝固性材料が、ガラス遷移温度を示す熱可塑性物質であり、前記ステップ c) は、前記形成環境の温度を、該ガラス遷移温度よりも低い温度に維持する、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記熱凝固性材料が、アクリロニトリルブタジエンスチレンである、請求項 7 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

40

発明の分野

本発明は、熱可塑性材料からの固体モデルのラピッドプロトタイピング (prototyping) に関し、具体的には、カールおよびその他の歪みモードが最小にされる、モデルのラピッドプロトタイピング方法に関する。

発明の背景

モデルのラピッドプロトタイピングは、特定の設計に従った 3 次元の固体物体の作製を含む。この設計は通常、3 次元固体計算機援用設計システムからの数学的データを含む。ラピッドプロトタイピングシステムは、以下により、固体物体を作り出す。

ーモノマー層の連続光重合、一材料のミリング除去

ー微粒子のレーザ溶融 (laser fusing)

50

- －熱可塑性物質の連続押し出し
- －罫書きされた (scribed) 紙層のラミネート
- －熱凝固性ワックスまたは金属の噴射 (jetting)
- －レーザ増強型 (laser enhanced) 化学的気相成長
- －予め機械加工されたプレートのろう付け
- －セラミック粉末への結合剤の噴射
- －その他の技術

好適なラピッドプロトタイピングシステムは、熱凝固性材料を堆積させることにより、固体モデルを作り出す。これらのプロセスでは、シード即ち基板上、または、以前に堆積された熱可塑性材料上に、流動性材料が連続的に堆積される。堆積後、材料は凝固し、これにより、所望の形を漸増的に作り出すことができる。熱凝固性システムの例としては、熔融堆積 (fused deposition) モデリング、ワックス噴射、金属噴射、消耗ロッドアーク溶接、プラズマスプレイ、などがある。

ほとんどの堆積材料は、温度とともに密度を変える。これは特に、これらの堆積材料が流体から固体に遷移するためである。従って、熱凝固性材料ラピッドプロトタイピングシステムは、この密度変化により生じる製品プロトタイプの幾何学的形状の歪みを最小にするという課題を共有している。熱凝固性システムは、「カール」および「塑性変形」の両方の歪み機構を被る。カールは、冷却期間中にプロトタイプに引き起こされる曲線状の幾何学的形状の歪みにより明らかである。(熱凝固性材料を使用する現代のラピッドプロトタイピングシステムにより作製されるプロトタイプに関して) そのような幾何学的形状の歪みに最も大きく寄与する1つのものは、材料が比較的高温の流動性の状態から比較的低温の固体状態に遷移するときの材料の密度変化である。

膨張係数が温度から独立している単純な場合には、連続的に付与された平面層の幾何学的形状の歪みの性質および大きさを推定することができる。材料が z 方向に厚さ h のプレートにされると、材料に線形熱勾配 dT/dz が存在し、そして、材料が一定の熱膨張係数 I を有していると仮定する。 z 方向は、プレートが構成される支持表面とほぼ直交する。その後、プレートがある均一な温度になることが可能にされると、プレートは、付与力なしで歪み、半径 r の円筒形シェルを形成する。ここで、

$$r = (I \star dT/dz)^{-1} \quad (1)$$

である。

カール C は、曲率半径の逆数として規定される。即ち、 $C = 1/r$ である。正のカールの例が、図1に示される。移動式押し出し機106を用いて、ベース102に熱可塑性材料104の連続層が堆積される。熱凝固されたラピッドプロトタイプにおいて典型的であるように、一連の層が z 方向(即ち、ベース102に直交する方向)に連続的に堆積され、堆積される最後の層は、常に、最も高い温度を有する。そのような追加式プロセスでは、典型的には、熱勾配を含む正確な幾何学的形状の部品が得られる。その後、この部品の温度が低下し、そして等温になるため、この部品は、長い特徴の端部のカールにより歪む。水平方向の最大長 L と、幾何学的形状の許容可能な最大歪み L とを有するプロトタイプを作製することが望ましい場合、部品が形成されているときの部品内の許容可能な最大温度勾配は、以下ようになる。

$$(dT/dz)_{\max} = 8L/L^2 I \quad (2)$$

例えば、 90×10^{-6} /摂氏度の膨張係数を有する熱可塑性物質で、長さ12インチの部品を0.030インチの公差で作製するためには、形成中の部品の許容可能な最大熱勾配は、 $18^\circ\text{C}/\text{インチ}$ である。残念なことに、熱勾配は通常、流体材料が凝固している部分の近傍では、 $18^\circ\text{C}/\text{インチ}$ よりもはるかに大きい。

カールの影響を低減する技術がある。1つの技術は、可能な温度差を低減するために周囲形成環境 (ambient build environment) を加熱することを伴う。別の技術は、可能な最も低い熱膨張係数を示す形成材料 (build materials) を慎重に選ぶことである。さらに他の技術は、可能な最も低い温度で形成材料を堆積させることである。

塑性変形は、熱膨張係数に関係のない、形成材料の第2の現象である。この現象もまた、

熱凝固プロトタイプに歪みを引き起こし得る。図 2 A および図 2 B に示される溶融堆積モデリング装置について考える。いずれの場合も、流動性材料が、加熱されたノズル 106 から流出し、以前に堆積された凝固した材料 104 の上で凝固している。図 2 A では、ノズル 106 が材料 104 を堆積させるとき、ノズル 106 は上に移動しているが、図 2 B では、ノズル 106 は下に移動する。図 2 A では、ノズル 106 から出てくる材料は、堆積されるとき、90°未満の屈曲を経験するが、図 2 B では、材料は、90°よりも大きい屈曲を経験する。実験的には、図 2 A の構成よりも図 2 B の構成からの方が、より多くの歪みが生じる。さらに、その影響は、より低い堆積温度の場合に、より顕著である。これは、材料の弾性成分の非弾性変形に起因すると考えられる。この歪みは、鋭い直角の屈曲の上で紙を引きずることにより紙に作り出されるカールと類似している。

10

当該分野には、固体モデリングの様々な教示が数多くある。例えば、本願と同一の譲受人に譲渡された Crump の米国特許第 5,121,329 号は、溶融堆積モデリングシステムを記載している。Crump のシステムは、加熱された形成環境を組み込んでいるが、このシステムでは、堆積された材料が、その後の材料層が付加されるときに、堆積された材料の凝固温度よりも低くなければならない。Vilavaara の米国特許第 4,749,347 号および Almquist らの米国特許第 5,141,680 号は、流動性の熱凝固材料を組み込むラピッドプロトタイピングシステムを記載している。これらの特許はともに、押し出し材料の凝固温度以下に維持される形成環境を教示している。

従って、本発明の目的は、熱凝固性材料を使用する改良されたラピッドプロトタイピング方法を提供することである。

20

本発明の別の目的は、結果として得られる部品の幾何学的形状の精度および忠実度を向上する改良されたラピッドプロトタイピング方法を提供することである。

本発明のさらに他の目的は、プロトタイプに作り出される内部応力の低減を達成する熱凝固性材料を用いる改良されたラピッドプロトタイピング方法を提供することである。

発明の要旨

プロトタイプの所望の形状に対応するデータが、ラピッドプロトタイピングシステムに送られる。システムは、熱凝固して所望の幾何学的形状を作り出す流動性材料を押し出すシーケンスを計算する。次いで、加熱された流動性モデリング材料が、新しく堆積される材料の近傍の体積を材料の凝固温度と材料のクリープ温度との間の堆積温度ウィンドウ内に維持する形成環境に、材料の堆積温度で連続的に押し出される。その後、新しく押し出された材料は、幾何学的形状の温度勾配を、部品の幾何学的形状の所望の精度により設定された最大値よりも小さい値に維持しながら、徐々に材料の凝固温度よりも低い温度に冷却される。

30

【図面の簡単な説明】

図 1 は、凝固性材料の熱収縮による典型的なプロトタイプの歪みを示す。

図 2 A および図 2 B は、凝固性材料の弾性成分の非弾性変形から生じる、歪みの影響を示す。

図 3 A、図 3 B および図 3 C は、ABS（アクリロニトリルブタジエンスチレン）熱可塑性物質についての、温度対比重、応力緩和係数（modulus）および粘度の変化のプロットを示す。

40

図 4 は、本発明の方法を組み込むラピッドプロトタイピングシステムのプロセスフロー図である。

発明の詳細な説明

本発明は、材料の流体状態と材料の固体状態との間に遷移領域があるという認識に基づく。遷移領域を含む温度範囲がどれくらい広いかは、押し出される材料のタイプに応じて変わる。結晶材料は、より鮮明な遷移領域を有する傾向があり、ガラス材料は、より広い遷移領域を示す。しかし、固相の結晶材料は、材料の融点に近づくと著しく増加する温度依存性のクリープレートを有する。以下の説明では、主としてガラス熱可塑性物質の特性について考えるが、本発明は、混合相および結晶材料にも適用可能である。

図 3 A ～図 3 C は、ABS 熱可塑性物質の材料特性対温度の 3 つのグラフを示す。図 3 A

50

は、1気圧での温度に対するABSの密度の変動を示す。このプロットは、ほぼ区分的線形であり、2本の線が出会う場所（即ち、点X）は、その材料のガラス遷移温度である。この点は、結晶固体の融点にほぼ等しい。

図3Bは、応力が付与されてから300秒後のABS熱可塑性物質の応力緩和係数の変動を示す。このデータは、テスト部品に一定の歪み（strain）を付与し且つ応力の経時的進化を測定することにより、市販のレオメータで生成される。実際的には、これは、材料がどの温度で固体であるかを判定する有効な方法である。初期歪みの付与後300秒が妥当な間隔であるとして選ばれたのは、それが、相の堆積時間の典型だからである。ラピッドプロトタイピング方法が、実質的に異なる堆積レートを有していれば、応力緩和データを獲得する時間を、それに応じて変えるべきである。

10

図3Bは、約70℃までの温度について、ABSが300秒にわたって極めて小さいクリープを有することを示す。従って、この温度は、凝固温度（本発明の第1の温度に相当する）として規定される。クリープレートは、最初は徐々に増加し、次いで、ガラス遷移温度に達するとき急激に増加する。材料がガラス遷移温度になるまでには、材料は、長時間にわたって付与応力を支持しない（秒のオーダーの時間にわたってであるが、それでも材料は幾ら堅く見える）。

クリープ緩和温度（本発明の第2の温度に相当する）と呼ばれるのは、応力緩和係数が、その低音限界から10分の1（factor of 10）に低下した点である。その点では、材料は、モデリングが起り得るのにちょうど十分に固体であるが、材料は、内部応力が部品の幾何学的形状に影響を及ぼすことなく緩和し得るのに十分に高いクリープレートを有する。

20

図3Cは、温度に対するABSの粘度の変動を示す。このプロットは、材料が連続的に堆積されて部品を形成するのに十分に流動性であるためには、堆積温度が、270℃付近でなければならないことを示す。さらに、材料は、凝固するときを実質的な密度変化を経験し、この密度変化が、上述の機械的歪みにつながる。最後に、図3Cは、粘度が、どの温度で材料が固体であるのかを判定するための十分な流動性の基準ではないことを明らかにしている。

熱凝固を使用するラピッドプロトタイピングシステムにおいて、以前に堆積された材料を特定の温度ウィンドウ内に維持することにより、堆積された材料に存在する応力が軽減され、そして、幾何学的形状の歪みが低減されると判断されている。新しく堆積される材料が付与される場所の少なくとも近傍で、以前に堆積された材料は、好ましくは材料の凝固温度と材料のクリープ緩和温度との間の範囲にある温度に維持されなければならない。より好ましくは、温度は、クリープ緩和温度により近い温度に維持されるべきである。ABSの場合、温度ウィンドウは、約70℃と約90℃との間にある。概して、形成層（build layer）全体（押し出しノズルのすぐ隣の領域の外側）は、材料の凝固温度よりも高く且つ材料のクリープ緩和温度よりも低い温度に維持されるべきである。

30

上記温度は、材料のサンプルブロックでの応力緩和測定値から同定される。結果として得られるモデルの温度を上記範囲内に維持することにより、垂れ下がるほど弱いモデルと、（上記のような）カール応力が幾何学的形状の歪みを引き起こすほど強いモデルとの間の釣り合いがとれた状態に達する。さらに、固有の応力が緩和することが可能にされ、より正確な寸法のモデルが得られる。

40

以前に堆積された材料は、新しく堆積される材料の近傍で、上記堆積温度ウィンドウ内の温度であることが必要とされるが、堆積された部分全体がそのウィンドウ内である必要はない。上記方程式2で規定されるように、以前に堆積された材料の領域は、その領域内の熱勾配が所定の精度仕様を満たすために必要とされる熱勾配よりも小さい限り、所定の凝固温度よりも低い温度であり得る。

一旦プロトタイプモデル全体が完成すると、このプロトタイプモデルは、プロトタイプモデルが取り扱われる前、または、プロトタイプモデルに大きな応力が付与される前に、すべての場所で材料の凝固温度よりも低い温度になるように冷却される必要がある。冷却速度は、方程式2により設定された熱勾配限界に違反しない程度に十分に低速であるべきで

50

ある。

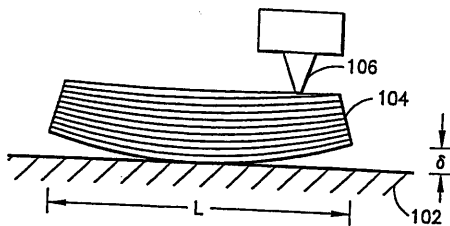
図4は、本発明による好適なプロトタイプ形成プロセスを示す。プロトタイプの所望の形状に対応するデータが、ラピッドプロトタイピングシステムに送られる。システムは、熱凝固して記述された幾何学的形状を作り出す流動性材料を押し出すシーケンスを計算する（ボックス110）。次いで、加熱された流動性モデリング材料が、新しく堆積される材料の近傍の形成体積（build volume）を材料の凝固温度と材料のクリープ温度とにより規定される堆積温度ウィンドウ内に維持する形成環境に、材料の堆積温度で連続的に押し出される（ボックス112）。計算ステップ110は、堆積ステップ112が始まる前に終了する必要はない。

従って、新しく押し出された材料は、温度勾配を、部品の幾何学的形状の所望の精度により設定された最大値よりも小さい値に維持しながら、徐々に材料の凝固温度よりも低い温度に冷却される（ボックス114）。

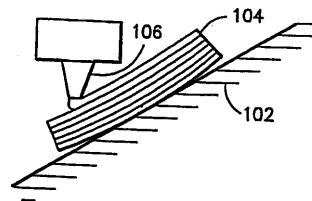
上記説明は、本発明の例示にすぎないことが理解されるはずである。本発明から逸脱することなく、当業者により様々な変更および改変が考案され得る。従って、本発明は、添付の請求の範囲の範囲内にあるそのような変更、改変および変形をすべて含むことが意図される。

10

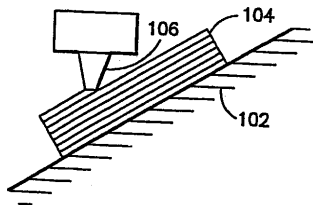
【図1】

FIG.1
従来技術

【図2B】

FIG.2B
従来技術

【図2A】

FIG.2A
従来技術

【図3A】

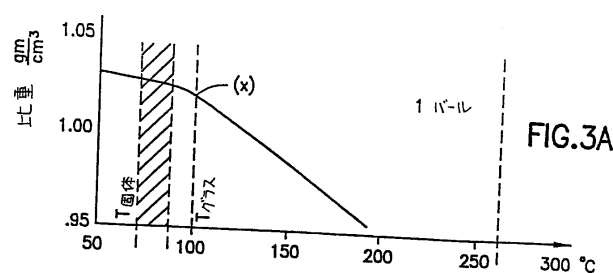


FIG.3A

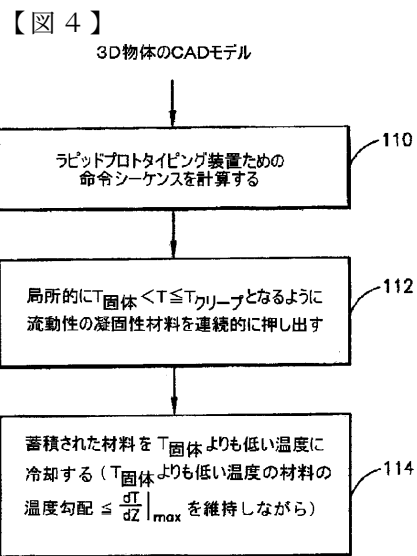
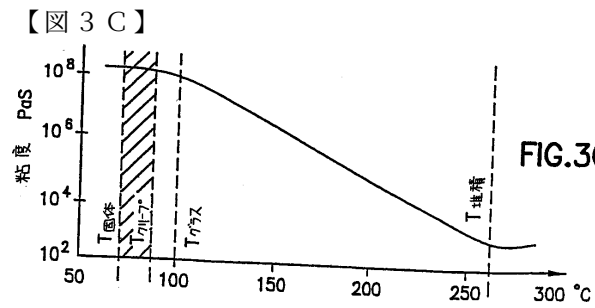
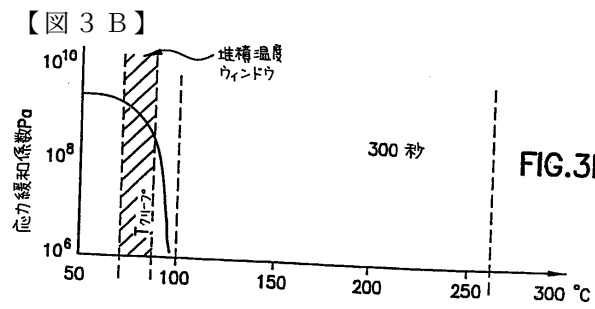


FIG.4

フロントページの続き

(72)発明者 クランプ, スティーブン スコット
アメリカ合衆国 ミネソタ 55391, ウェイザタ, フェアチャイルド アベニュー 3300

審査官 山本 晋也

(56)参考文献 特開平03-158228 (JP, A)
特開平05-345359 (JP, A)
中浜精一、他6名, エッセンシャル高分子科学, 日本, 株式会社 講談社, 1995年 8月10日, 第144頁-第153頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B29C 67/00