

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-523391
(P2005-523391A)

(43) 公表日 平成17年8月4日(2005.8.4)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
DO1F 6/00	DO1F 6/00	4F207
B29C 47/92	B29C 47/92	4L035
// DO2J 1/22	DO2J 1/22	4L036
B29K 105:08	B29K 105:08	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 23 頁)

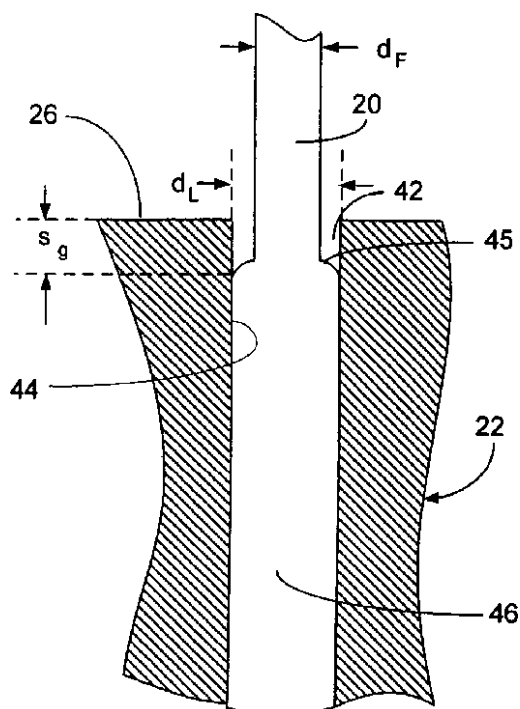
(21) 出願番号	特願2003-586406 (P2003-586406)	(71) 出願人	504382578 ストラッタシス, インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ミネソタ 55344- 2020, エデン プレイリー, マー ティン ドライブ 14950
(86) (22) 出願日	平成15年4月17日 (2003.4.17)	(74) 代理人	100078282 弁理士 山本 秀策
(85) 翻訳文提出日	平成16年12月9日 (2004.12.9)	(74) 代理人	100062409 弁理士 安村 高明
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/011888	(74) 代理人	100113413 弁理士 森下 夏樹
(87) 国際公開番号	W02003/089702		
(87) 国際公開日	平成15年10月30日 (2003.10.30)		
(31) 優先権主張番号	10/124, 241		
(32) 優先日	平成14年4月17日 (2002.4.17)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高精度造形フィラメント

(57) 【要約】

熱溶解積層造形液化機(22)で供給原料として使用するための造形フィラメント(20)およびこのフィラメント(20)を製造する方法が開示される。フィラメント(20)の直径および標準偏差が、詰まり抵抗、滑り抵抗、モデル強度、液化機の溢流防止、および無ヒステリシス過渡的応答の様々な公差要件を満足するように制御される。フィラメント径の標準偏差がフィラメントの標的直径に適合される。得られるフィラメント(20)を使用して高品質のモデルを形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

d_L の内径を有する液化機を具備する 3 次元造形機で使用するための造形材料の供給材料であって、

20 フィートを超える長さを有し、平均直径を有し、かつ 0.0004 インチ以下の前記直径の標準偏差を有するフィラメントを含む造形材料の供給材料。

【請求項 2】

前記標準偏差が 0.0003 インチ以下である、請求項 1 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 3】

前記平均直径が 0.069 ~ 0.074 インチの間である、請求項 1 に記載の造形材料の供給材料。 10

【請求項 4】

d_L が約 0.076 インチである、請求項 1 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 5】

前記平均直径が 0.071 ~ 0.072 インチの間であり、前記直径の前記標準偏差が 0.0003 以下である、請求項 1 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 6】

前記平均直径が 0.072 ~ 0.073 インチの間であり、前記直径の前記標準偏差が 0.00015 以下である、請求項 1 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 7】

d_L の内径を有する液化機を具備する 3 次元造形機で使用するための造形材料の供給材料であって、 20

20 フィートを超える長さを有し、平均直径 d_F を有し、かつ関係式：

$d_F < 0.007 \cdot \langle d_F \rangle$ インチにしたがって前記直径の標準偏差を有する熱可塑性フィラメントを含む造形材料の供給材料。

【請求項 8】

前記平均フィラメント直径が 0.069 ~ 0.074 インチの間である、請求項 7 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 9】

前記標準偏差が 0.0004 インチ以下である、請求項 7 に記載の造形材料の供給材料。 30

【請求項 10】

内径 d_L を有する液化機を具備し、かつ幅 W および高さ L を有する路の中に造形材料を付着する 3 次元造形機で使用するための造形材料の供給材料であって、

20 フィートを超える長さを有し、関係式： $0.84 d_L < \langle d_F \rangle < d_L - 6 \sigma_F$ にしたがう平均直径 $\langle d_F \rangle$ を有し、かつ次式の標準偏差 σ_F であって、

【数 1】

$$\sigma_F \leq \frac{2LWS_s}{3\pi d_T \Delta S_g}$$

上式で、 S_s が最大許容継目間隙であり、 S_g が前記液化機内部におけるメニスカスの予測平均移動である、標準偏差 σ_F を有するフィラメントを含む造形材料の供給材料。 40

【請求項 11】

$\langle d_F \rangle$ が 0.069 ~ 0.074 インチの間にあり、 σ_F が 0.0004 インチ以下である、請求項 10 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 12】

$\langle d_F \rangle$ が 0.071 ~ 0.072 インチの間にあり、 σ_F が 0.0003 インチ以下である、請求項 10 に記載の造形材料の供給材料。

【請求項 13】

$\langle d_F \rangle$ が 0.072 ~ 0.073 インチの間にあり、 σ_F が 0.00015 インチ以下である、請求項 10 に記載の造形材料の供給材料。 50

【請求項 14】

内径 d_L を有する液化機を具備し、かつ固体の造形材料の供給材料を受け入れて、幅 W および高さ L の路の中に溶解された材料を付着する熱溶解積層造形機において3次元物体を形成する方法であって、

関係式 $0.84 d_L < < d_F > < d_L - 6 \sigma_F$ にしたがう平均直径 $< d_F >$ と、次式の標準偏差 σ_F であって、

【数 2】

$$\sigma_F \leq \frac{2LWS_s}{3\pi d_T \Delta S_g}$$

10

上式で、 S_s が最大許容継目間隙であり、 S_s が前記液化機内部におけるメニスカスの予測平均移動である、標準偏差 σ_F とを有するフィラメントを前記造形材料の供給材料として使用するステップを含む方法。

【請求項 15】

$< d_F >$ が $0.069 \sim 0.074$ インチの間にあり、 σ_F が 0.0004 インチ以下である、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

d_L が約 0.076 インチである、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

$< d_F >$ が $0.071 \sim 0.072$ インチの間にあり、 σ_F が 0.0003 インチ以下である、請求項 14 に記載の方法。 20

【請求項 18】

$< d_F >$ が $0.072 \sim 0.073$ インチの間にあり、 σ_F が 0.00015 インチ以下である、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 19】

前記フィラメントが熱可塑性物であり、前記標準偏差 σ_F が、

$$\sigma_F \leq 0.007 \cdot < d_F >$$

にも従う、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 20】

前記標準偏差 σ_F が、

30

【数 3】

$$\sigma_F \leq \frac{d_T}{3} \left(\sqrt{\frac{100}{F_T}} - 1 \right)$$

にも従い、上式で F_T が前記物体の標的充填百分率である、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 21】

内径 d_L を有する液化機を具備し、かつ固体の造形材料の供給材料を受け入れて、幅 W および高さ L の路の中に溶解された材料を付着する熱溶解積層造形機において3次元物体を形成する方法であって、

40

20フィートを超える長さを有し、 $0.069 \sim 0.074$ インチの間の平均直径を有し、かつ 0.0004 インチ以下の前記直径の標準偏差を有するフィラメントを前記造形供給材料として使用するステップを含む方法。

【請求項 22】

d_L が約 0.076 インチである、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

$< d_F >$ が $0.071 \sim 0.072$ インチの間にあり、 σ_F が 0.0003 インチ以下である、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 24】

$< d_F >$ が $0.072 \sim 0.073$ インチの間にあり、 σ_F が 0.00015 インチ以下 50

である、請求項 2 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、押出成形に基づく積層製造技術を用いる 3 次元物体の製作に関する。具体的には、それは、熱溶解積層 3 次元造形機で供給材料として使用される造形フィラメントに関する。

【背景技術】

【0002】

3 次元モデルは、美的判断、数学的モデルの証明、実体的な工具形成、干渉および空間配分の研究、ならびに機能試験を含む目的に使用される。押出成形に基づく積層製造機は、押出ヘッドによって基部上に担持されたノズル先端から固化可能な造形材料を押し出すことによって 3 次元モデルを積層して構築する。造形材料は、加熱されると流動化し、温度が低下すると固化し、かつ固化するときに適切な接着によって先行層に付着する。適切な材料には、ワックス、熱可塑性樹脂、および様々な金属が含まれる。基部に対する押出ヘッドの移動は、コンピュータ支援設計 (CAD) システムから供給される設計データにしたがって、コンピュータ制御下で所定のパターンで行われる。

【0003】

3 次元物体を作製する押出成形に基づく装置および方法の例は、Valavaara の米国特許第 4,749,347 号明細書、Crump の米国特許第 5,121,329 号明細書、Crump の米国特許第 5,340,433 号明細書、Crump らの米国特許第 5,503,785 号明細書、Danforth らの米国特許第 5,738,817 号明細書、Danforth らの米国特許第 5,900,207 号明細書、Batchelder らの米国特許第 5,764,521 号明細書、Dahlin らの米国特許第 6,022,207 号明細書、Swanson の米国特許第 6,004,124 号明細書、Stuffle らの米国特許第 6,067,480 号明細書、および Batchelder らの米国特許第 6,085,957 号明細書に説明されており、これらのすべては、本発明の譲受人であるストラタシス社 (Stratasys, Inc.) に譲渡されている。

【0004】

造形材料は、このような材料の液体または固体の供給材料を含めて、様々な形態で積層造形機の押出ヘッドに供給され得る。押出ヘッドは、付着させるために固体の供給材料を流動可能な温度まで加熱する。1 つの技法では、造形材料がフィラメント素線の形態で押出ヘッドに供給される。加圧手段を使用して熔融造形材料を押出ヘッドから押し出す。

【0005】

現在技術の Stratasys (登録商標) FDM (登録商標) 3 次元造形機は、ソフトウェア・プログラムを使用して、物体の CAD 設計を多水平層に「薄切りにする」。この機械は、「路」と呼ばれる流動性素線の状態で造形材料を押し出し、それによって 1 層ずつ積み重ねて物体を構築する。押し出される材料は、先に付着された材料に溶解定着し、温度が低下すると固化して CAD モデルに似せた 3 次元物体を形成する。造形材料は、熱可塑性またはワックス材料が典型である。

【0006】

最も頻繁に実施される構成では、材料の供給原料はフィラメントの形態にある。フィラメント供給材料を用いる現在技術の Stratasys (登録商標) FDM (登録商標) 造形機では、造形材料は、米国特許 5,121,329 号明細書に開示されているように、供給リール上に巻き取られた柔軟なフィラメントとして機械に装填される。典型的には、フィラメントは、約 0.070 インチほどの小さな直径を有する。液化機および分注ノズルを具備する押出ヘッドは、フィラメントを受け入れて、フィラメントを液化機で溶解し、溶解された造形材料をノズルから押し出す。モータ駆動の送出口ローラがフィラメント素線を液化機の中へ前送りする。モータ駆動の送出口ローラは、フィラメントを液化機の中に押し入れて「液化機ポンプ」を創成するが、そこではフィラメント自体がピストンの役

目をする。送出口ローラがフィラメントを液化機の中へ前送りするとき、進入して来るフィラメント素線の力によって、流動性材料がノズルから押し出される。現在技術の典型的な押し出し流量は、0から20,000毎秒マイクロ立方インチにわたる。

【0007】

ノズルから押し出される材料の容積流量は、フィラメントがヘッドに前送りされる速度の関数である。したがって、流量は、フィラメントが液化機の中に前送りされる速度を制御することによって操作される。最適には、液化機は、最初に出て来る流量容積におけるローラの動きを完全な忠実度で再現するべきある。コントローラは、水平x-y平面において押し出しヘッドの移動を制御し、垂直z方向において基部の移動を制御し、かつ送出口ローラがフィラメントを前送りする速度を制御する。これらの作業変数を同時に制御することによって、造形材料は、CADモデルから画定された工具経路に沿って1層ずつ「路」の中に付着される。押し出される材料は、先に付着された材料に溶融定着し、かつ固化してCADモデルに似せた3次元物体を形成する。

10

【0008】

押し出された路は、理想的には正確なモデルを創成するために厳密に制御されるべき断面積を有する。通常は、一定のビード幅が望ましい。このビード幅は、押し出しヘッド速度ばかりでなく、ノズル口のサイズおよびノズルからの材料の流量に関連する。ビード幅は、押し出しノズル先端と先に押し出された層（または基部）との間の間隙によっても影響を受ける。押し出しヘッド速度が変化するとき、それにしたがって出力流量を変更しなければならず、さもないと一定のビード幅が得られないことになる。

20

【0009】

予測可能な押し出し流量を実現しようとして、造形フィラメントは公差限界を満たすように製造される。直径0.070インチの標的直径を有する円筒の形態にあるフィラメントは、+/-0.0025インチの公差で製造される。フィラメントは、この標的直径を要件とする押し出し工程を使用して製造される。従来技術による方法では、製造工程時にレーザ・マイクロメータを使用し、フィラメントの乾燥後に巻き取られたフィラメントをマイクロメータで測定することによって公差を確認する。0.0725インチよりも大きい測定値または0.0675インチよりも小さい測定値が存在しなければ、フィラメントは合格と見なされる。

【0010】

現在技術の造形システムでは、特に工具経路の開始箇所および終了箇所、例えば、「継目」箇所（すなわち、閉鎖ループ工具経路の開始および終了箇所）においてビード幅の誤差が生じる。ビード幅誤差は、1つには一貫性に欠ける流量によって生じる。このような誤差は、得られるモデルの形状に望ましくない整合不良をもたらす。

30

【0011】

ビード幅および継目誤差を最小化するために出力流量を制御する技法は、米国特許第6,085,957号明細書に開示されている。この957号特許は、フィラメント素線が液化機に進入するとき、そのフィラメント径を瞬時に検出し、その結果としてフィラメントの液化機への送出速度を瞬時に調整することを教示する。この技法は確かに誤差を減少させるが、その一方で、それは造形機にそれぞれセンサを装備しなければならず、機械の費用および保守が加わる欠点を有する。また、この技法を使用しても依然として誤差が観察される場合がある。

40

【0012】

熱溶解積層造形技法を使用して作製されるモデルでは、ビード幅および継目誤差をさらに最小化することが望ましい。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0013】

（発明の簡単な要旨）

本発明は、内径 d_L を有する液化機を備える押し出し装置で供給材料として使用するための

50

高精度造形フィラメントであり、さらに本発明の造形フィラメントを使用して3次元物体を形成する方法である。液化機は、造形フィラメントを受け入れて、幅Wおよび高さLを有する路の中に、それを溶解形態で付着させる。造形フィラメントは、詰まり抵抗、滑り抵抗、モデル強度、液化機溢流防止、および無ヒステリシス過渡的応答の様々な基準を満たすように制御される平均直径およびその直径の標準偏差を有する。

【0014】

直径の標準偏差 (σ_F) は、フィラメントの標的直径に適合される。標的フィラメント径 d_T は、詰まり抵抗および滑り抵抗基準を満たすように、関係式 $0.84L < d_T < d_L - 6\sigma_F$ にしたがって制約される。標準偏差は、無ヒステリシス過渡的応答要件を満たすように、関係式、すなわち、

10

【0015】

【数4】

$$\sigma_F \leq \frac{2LWS_s}{3\pi d_T \Delta S_g}$$

【0016】

にしたがって制約され、前式で、 S_g は液化機内部におけるメニスカスの予測平均移動であり、 S_s は継目における最大許容間隙であり、Wは路の幅であり、さらにLは路の高さである。モデル強度および液化機溢流防止基準は無ヒステリシス過渡的応答要件と重複し得るが、標準偏差は、これらの基準を満たすようにさらに制約される。

20

【0017】

フィラメントは、平均フィラメント径 $\langle d_F \rangle$ が標的直径と等しいように製造される。本発明の教示にしたがって製造された、0.076インチ内径の液化機で使用するのに適切な特定のフィラメントは、0.069インチと0.073インチの間の標的直径および0.0004インチ以下の標準偏差を有する。本発明の造形フィラメントを使用して高品質モデルを形成する。

【0018】

(詳細な説明)

本発明の目的は、ある一定の識別基準にしたがって確立された公差限界を満たす直径を有する造形フィラメントを作製し、かつ造形フィラメントを供給材料として使用して高品質のモデルを作製することである。本発明は、従来技術に見受けられるようなフィラメント径のばらつきが、熱溶解積層造形液化機の性能を著しく損ない、低品質のモデルをもたらし得るという認識に基づく。本発明の公差限界およびこれらの限界を満たす造形フィラメントを作製する、フィラメントの直径制御を組み込んだ製造工程が説明される。

30

【0019】

図1は例示的な液化機22の断面を示すが、この液化機22の入口またはキャップ26の中にフィラメント20の素線押し込む1対の送出口ーラ24が組み合わせてある。これらの送出口ーラ24は、モータ(図示せず)によって制御速度で駆動される。ノズルまたは先端28は、作製中のモデル30の上に流動性の熱可塑性物質を選択的に付着させる。例示するように、フィラメント20は瞬間的な直径 d_F を有するが、それは必然的に液化機22の内径 d_L よりも小さくなければならない。

40

【0020】

図1に示すような液化機を具備する現在の造形システムでは、創成されるモデルの精度は、フィラメントの供給精度に依存する。フィラメントの断面が変化するとき、この機械の液化機先端に送出される材料の容積は一定の状態に留まらず、材料の流量を変動させる。例えば、フィラメントが大き過ぎれば、過剰な材料が液化機先端に蓄積する恐れがあり、材料が溢流するモデル層をもたらす。またフィラメントが小さ過ぎれば、部分を充填する材料の不足または遅れが発生する恐れがあり、過度に多孔性の積層をもたらす、表面仕上げ不良および弱体部分を生じる。両方の状況は、直ちにモデルの不具合につながる恐れがある。たとえフィラメント径 d_F のばらつきが小さくても、隙間および過剰な厚みを含

50

めて完成モデルの品質の大きなばらつきをもたらす得る、液化機の過渡的応答における許容外のばらつきを発生させる恐れがあることが最近になって判明した。

【0021】

本発明は、流量のばらつきを低減し、それによってモデルの品質を高めるために、押し出されるフィラメント供給材料の製造公差に限界を設定する幾つかの基準を識別する。

【0022】

(フィラメント径の公差)

本発明によれば、フィラメント20は、その直径が幾つかの別個の公差要件を同時に満たすように製造される。フィラメントの標的直径 d_T は、詰まり抵抗および滑り抵抗の基準にしたがって選択される。標準偏差 σ_F は、モデル強度、液化機の溢流防止、および無ヒステリシス過渡的応答の公差要件にしたがって、標的直径 d_T に関して選択される。

10

【0023】

従来技術では、詰まり抵抗および滑り抵抗基準のみを認識しかつ満足させてきた。最近のデータでは、液化機の過渡的応答は、フィラメント径と液化機内径との間の差のわずかな変化に敏感であることが判明している。本発明は、これらの幾つかの基準にしたがってフィラメント径の標準偏差を限定することによって、モデルの品質が高まるものと認識する。

【0024】

(詰まり抵抗)

フィラメント径がキャップ26において液化機22の内径を超過することがあれば、フィラメント20は、それが液化機22に進入しようとするとき詰まることになる。フィラメント製造工程の標準偏差が厳密になればなるほど、それだけフィラメントの標的直径 d_T は液化機22の内径 d_L に近づき得る。フィラメント20が確実にキャップ26で詰まらないようにするためには、次式が要件となる。

20

$$d_T < d_L - 6 \sigma_F \quad \text{式 1}$$

また式1に示す d_T と d_L との関係は、巻き取られていたことから生じる得るフィラメント20の楕円化にいずれも適応するための、フィラメント20が液化機22の中で嵌合する際の間隙をさらに含み得る。楕円化間隙は、変数 t_0 によって表すことができる。

【0025】

(滑り抵抗)

送出口ローラ24は限定的なコンプライアンスを有する。フィラメント径が送出口ローラのコンプライアンスによって許容される直径を下回って収縮すれば、フィラメント20は、望ましい速度で液化機の中に送出不れず、入口26で詰まる可能性がある。したがって、送出口ローラ24によって液化機22に送出不れるフィラメント20に対する別の要件は、フィラメント20が、送出口ローラ24を使用して液化機22の中に効果的に推進可能にするのに十分な直径を有していなければならないことである。

30

【0026】

ゴム弾性被覆ローラ、鋸歯状ローラ、および、単式または複式ばね偏倚ローラを含めて、送出口ローラ駆動の数多くの様々な種類が可能であり、かつ当業で知られている。同様に、追加的なローラを送出口ローラ24と直列に設けてもよい。ばね偏倚式鋸歯状ローラ駆動は、最も大きいコンプライアンス幅を有することが判明している。フィラメント20を液化機22の中に推進するばね偏倚式鋸歯状ローラに関する許容最小フィラメント径は、次式の通りである。

40

【0027】

$$d_T \geq 0.84 d_L \quad \text{式 2}$$

異なる駆動形式を使用する別の例は、異なるコンプライアンス、例えば、 $d_T \geq 0.96 d_L$ であり、駆動形式に依存する。特定の送出口ローラ形式に関するコンプライアンス限界を下回る直径は、ローラを滑らせかつ液化機が望ましい流量で材料を押し出せないようにする。

【0028】

50

(モデル強度)

別の造形要件は、得られるモデルが十分な強度を有することである。液化機 22 に進入するフィラメント 20 の直径が予測直径よりも小さければ、押し出される路 32 は意図されたものよりも小さくなる。その場合に得られるモデル 30 は、過剰な有孔率のために低い破壊応力を有する恐れがある。このような要件も、得られるモデルの最大有孔率を制限するものと説明することができる。

【0029】

図 2 は、モデル 30 の断面を示す。積層造形材料の 24 本の個々の路 32 が溶解し合っ
てモデル 30 を形成する。小さな孔 34 が路 32 の結合部に残存している。モデル 30 の
有孔率は、モデル 30 の画定された断面積 36 内部におけるすべての孔 34 の断面積を測
定することによって経験的に決定可能である。この例では、モデル 30 の有孔率は、面積
36 で除したすべての孔 34 の断面積であり、分数として与えられる。別法として、有孔
率を百分率で表してもよい。

10

【0030】

次の関係式によって、充填百分率 (F) が有孔率に直接関連付けられる。

$$(F / 100) + P = 1 \quad \text{式 3}$$

上式で、F は百分率であり、P は分数である。したがって、モデルの破壊応力に対する有
孔率の効果は充填百分率で考慮することができる。例えば、90% の充填率を有するポリ
カーボネート製モデルの強度は、図 3 の試料 39 および 40 によって示されているように
、95% の充填率を有するポリカーボネート製モデルに比べてかなり低減することが証明
されている。

20

【0031】

経験的に、ポリカーボネートに関しては、75% の最終破壊応力が 94% の充填率 (F
) によって得られる。数パーセントの有孔率が、ポリカーボネートに関して、様々な他の
アモルファス熱可塑性造形材料に関する場合と同じ相対的な破壊応力を与えることが経験
的に証明された。

【0032】

米国特許第 5,693,525 号明細書に説明されているように、現在の熱溶解積層造
形システムでは、標的モデル有孔率の実現が模索されている。標的有孔率は、フィラメン
ト径における標準偏差のような工程のばらつきに適應するためにゼロ以外の数値である。
したがって、対応する標的充填百分率、すなわち、 F_T は、100% 未満である。定常状
態では、モデルの充填百分率 F は次式となる。

30

【0033】

【数 5】

$$F = \left(\frac{d_T \pm 3\sigma_F}{d_T} \right)^2 F_T \quad \text{式 4}$$

【0034】

モデル強度は、充填百分率の下限 ($d_T - 3\sigma_F$) によって決定されることになる。こ
の下限を取って標準偏差に関して式 4 を解くと、標準偏差に対して次のような制約を与
える。

40

【0035】

【数 6】

$$\sigma_F \leq \frac{d_T}{3} \left(1 - \sqrt{\frac{F}{F_T}} \right) \quad \text{式 5}$$

【0036】

(溢流防止)

50

上記のモデル強度要件の説明と同様に、フィラメント径が予期されたものより大きければ、得られるモデル30は、過剰充填のために表面仕上げ不良となり得る。フィラメントが大き過ぎれば、過剰なフィラメントが液化機先端から押し出されて、局所的に過剰な厚みを有する路32をもたらす。得られる隆起は表面上の欠陥をもたらす恐れがある。したがって、フィラメント径に対して上限を設定する追加的な要件が存在する。

【0037】

フィラメントは、式4の上限に達するとき、過大サイズになり溢流を引き起し得る。100%の充填率Fおよび $(d_T + 3\sigma_F)$ に関して式4を解くと、製造公差を与える。

【0038】

【数7】

$$\sigma_F \leq \frac{d_T}{3} \left(\sqrt{\frac{100}{F_T}} - 1 \right) \quad \text{式6}$$

10

【0039】

(無ヒステリシス過渡的応答)

最近のデータによって、液化機の過渡的応答は、フィラメントの直径と液化機入口の直径との間の差のわずかな変化に敏感であることが判明している。液化機出力の流量変化による過渡的効果は、継目の品質不良および一貫性に欠けるビード幅を引き起こす恐れがある。このような過渡的効果は、フィラメント径の変動によって悪化する。フィラメント寸法が液化機の内部寸法に厳密かつ一貫して一致すればするほど、それだけモデルの品質が高まることが観察されている。フィラメント寸法とモデル品質に影響を及ぼす液化機の過渡的応答との間で観察される関係は複雑である。

20

【0040】

熱溶解積層による造形時に、フィラメント20は送出口ローラ24によって液化機の中に送出されて溶解される。したがって、溶解された造形材料と未溶解のフィラメントの両方が液化機22の中に存在する。液化機22は、送出口ローラ24によって液化機22の中に送り込まれるフィラメント20の素線の「ポンプ作用」によって加圧される。フィラメント20はピストンの役目をする。このような加圧によって、先に図1に示したように溶解した造形材料が先端28から押し出される。

30

【0041】

液化機22の中に進入するフィラメント20の動きを図4Aおよび4Bに示す。図4Aはフィラメントの低い送出速度を例示し、図4Bは高い送出速度を例示する。図示のように、固体フィラメント20と液化機22の内壁44との間には間隙42が存在する。この間隙43には、典型的に気体(例えば、空気または造形材料の蒸気)が充満する。図4Aおよび4Bはまた、固体フィラメント20が溶解した造形材料46に変わることによって生じるメニスカス45を示す。このメニスカス45は、溶解材料46が液化機22の内壁44に接触する箇所を明確に示す。図4Aに示すように、フィラメント20が低速で液化機22に進入するとき、液化機のキャップ26とメニスカス45との間にわずかな間隙距離が存在する。フィラメント20が相対的に高速で液化機22の中に進入しているときは、メニスカス45が図4Bに示すように、より下方の位置にあるので、この間隙距離は大きくなる。

40

【0042】

フィラメント20が液化機22の中に押し込まれる速度が変化すれば、液化機22中の溶解材料46の量の変化し、それは次に液化機中の圧力および関連する出力流量に影響を与える。液化機22が実質的な時間の間、ゆっくりと押し出し、次いで高い流速に移行するとき、液化機22は、間隙距離が増大するので過渡的に押し出し過剰になる。気化器22が実質的な時間の間、高速で押し出し、次いで低い流速に移行するとき、液化機22は、間隙距離が減少するので過渡的に押し出し不足になる。間隙距離は、流速による変化の他にも、粘性、開始時および停止時、フィラメント径、液化機の直径、ならびに非ニュートン

50

効果によって変化することが観察されている。本発明では、フィラメント径がほぼ一定に維持されていれば、間隙距離の挙動を単純化して過渡的効果をさらに容易に制御できることが認識されている。

【0043】

経験的データによって、フィラメント径が一定であれば過渡的効果をさらに容易に制御し得ることが確認されている。図5は、2つの異なる直径のフィラメントを使用して、内径 $d_L = 0.076$ インチの液化機による押出しに関して、位置の関数として路幅を測定することによって作成された実験データを示す。送出口ーラ速度は、公称 0.019 インチ (19 ミル) 幅の路を作成するために液化先端速度に比例するように維持した。 $t = 0$ 前のかかりの時間の間、液化機は、毎秒 $1,000$ マイクロ立方インチ (MIC) の相対的に高速で押し出していた。 $t = 0$ で、液化機速度は、 180 MICの定常状態の押出し速度に対応する速度まで急激に減速した。2001年9月21日に出願の米国特許出願第 $09/960,133$ 号明細書および対応する国際特許出願公開第 $PC T/US 02/29163$ 号パンフレットに説明されているように、液化機中の未溶解フィラメントの存在は、図5の破線48に対応する、液化機出力に過渡的サージを発生させることが予測されている。 $133/163$ 号出願は、予期されるサージに対処するためにフィラメント送出速度の調整を教示するが、それは、本明細書で十分に説明されているものとして、ここに参照によって本明細書に組み込まれる。

10

【0044】

図5は、出力流量が平均フィラメント径によって変化し、かつ $\langle d_F \rangle$ と d_L との間の差が大きくなると、予測出力とは大きな差を有する過渡的効果を引き起こすことを示す。図5の曲線50は、 0.0707 インチ径のフィラメントを使用して測定された過渡的効果を表す。曲線52は、 0.0683 インチ径のフィラメントを使用して測定された過渡的効果を表す。曲線50および52は、予測曲線48から外れる変動過渡的応答を証明する。これらの変動過渡的応答は、それらが複雑であり、かつそれらはフィラメント径のわずかなばらつきによって変化するので望ましくない。得られた特定の曲線は、材料の種類、液化機内径 d_L と平均フィラメント径 $\langle d_F \rangle$ との間の環状面積、流速の変化、および温度 (粘性) によって変化することを認識されたい。液化機応答は、それが液化機の最近の流動履歴に依存するという点でヒステリシス性であることも認識されたい。

20

【0045】

出力流量における過渡的効果は、液化機中の材料の容積誤差によって引き起こされ、液化機出力の速度変化とフィラメント径のばらつきの両方に起因し得る。流量に対するフィラメント径の標準偏差の影響を評価するために、液化機出力の速度変化による容積誤差およびフィラメント径のばらつきによって生じる容積誤差を検討する。

30

【0046】

次式によって液化機出力の速度変化による平均容積誤差 V_{err1} を定義する。

【0047】

【数8】

$$V_{err1} = \frac{\Delta S_g \pi (d_L^2 - d_r^2)}{4} \quad \text{式 7}$$

40

【0048】

上式で、 S_g は、継目が作成されるとき在所与の液化機内部におけるメニスカスの平均移動として定義される。上述のように、フィラメント速度が増大するとき、メニスカスは液化機の中で降下する (例えば、図4Aから図4Bに進む)。逆に、フィラメント速度が遅くなると、メニスカスは液化機の中で上昇する。所与の造形装置によって作成される継目のほとんどは、メニスカスの動きがほぼ同じであれば、おおよそ同じ幾何学的形状、加速度、および減速度を伴うものと想定することが妥当である。式7にしたがえば、メニスカスが存在するときには常に誤差が存在することになる。同様に式7から、標的直径 d_r が液化機径 d_L に近づけば近づくほど、それだけ容積誤差が小さくなる。

50

【 0 0 4 9 】

液化機応答の速度変化（すなわち、メニスカスの動き）による誤差およびフィラメント径のばらつきによる誤差を含む合計容積誤差 V_{err2} は次のように定義される。

【 0 0 5 0 】

【 数 9 】

$$V_{err2} = (\Delta S_g \pi (d_L^2 - (d_T - 3\sigma_F)^2)) / 4 \quad \text{式 8}$$

【 0 0 5 1 】

$d_T - 3\sigma_F$ は、起こり得ない（百万分率）場合も含めて、最悪の場合の誤差を与えるように選択される。合計容積誤差およびメニスカスの動きに起因する容積誤差を定義すると、フィラメント径のばらつきに起因する容積誤差は、 V_{err2} から V_{err1} を減算することによって与えられる。

【 0 0 5 2 】

容積誤差は路の幾何学的形状に関連する。継目に対する容積誤差の影響が図 6 に示されているが、そこでは、幅 W および高さ L の路 3 2 が継目間隙をおいて向かい合う。所与のシステムにおける継目に関する最大許容間隙または重なりとして常数 S_s を定義する。 S_s は、継目が重なる過剰充填と図 6 に示す間隙の両方に関する値を有する。容積誤差は、 $S_s * W * L$ の積によって概算した継目誤差容積にほぼ等しい。

【 0 0 5 3 】

FDM（登録商標）システムの制御助変数は、開始時および停止時の液化機応答速度の変化に起因する継目間隙（すなわち、 V_{err1} ）をゼロにするように調整可能である。しかし、フィラメントのサイズの標準偏差によって継目は間隙と過剰充填の両方を有することになるので、この継目間隙を完全に排除することはできない。開始時および停止時の応答速度の変化に起因する容積誤差が補正されているとき、発生する継目誤差は、フィラメント径のばらつきに起因する容積誤差を表す。このような場合では、継目誤差は次式によって与えられる。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 0 】

$$S_s L W = V_{err2} - V_{err1}$$

式 9

【 0 0 5 5 】

式 7 および 8 を式 9 に代入して多項式を展開する。多項式から乗算によって得られる F^2 で表される項は、それは小さいので切捨て可能であり、次式を得る。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 1 】

$$S_s L W = \frac{3\pi \Delta S_g \sigma_F d_T}{2}$$

式 10

【 0 0 5 7 】

F に関して式 10 を解くと、 S_s 以下の大きさの継目間隙を得るのに必要な製造公差が与えられる。すなわち、

【 0 0 5 8 】

10

20

30

40

【数 1 2】

$$\sigma_F \leq \frac{2LWS_s}{3\pi d_T \Delta S_g} \quad \text{式 11}$$

【0059】

本発明の様々な公差限界を図示によってまたは線形プログラミングによって組み合わせ、必要な製造公差を決定することができる。図7は、以下に与えられる実施例に関して、標的フィラメント径とフィラメント径の標準偏差との間の必要な関係を示す。

【0060】

(実施)

本発明にしたがう高精度フィラメントの製作は、モデルを創成する際のフィラメントの意図された使用状況によって決定される様々な助変数に依存する。液化機の内径 d_L は、フィラメントが使用される液化機によって与えられる。路の幅 W および高さ L は、所与の造形システムに関する路の幾何学的形状である。最大許容継目間隙 S_s は、所与の造形システムに関して選択され、このシステムによって構築すべきモデルの形状精細度に応じる。標的充填百分率は、モデルの最終用途に基づいて必要とされる相対的な破壊応力を基本にして選択される。これらの助変数は、本発明を実施するために識別される。

【0061】

一例として、0.076 + / - 0.001 インチの液化機内径 d_L およびばね偏倚式鋸歯状ローラ駆動を有する、現在技術の *Stratasys* (登録商標) FDM (登録商標) から構築されたポリカーボネート製モデルを検討する。標的直径 d_T を選択するために、詰まり抵抗および滑り抵抗基準を与える式1および2に注目する。ポリカーボネート製フィラメントを使用する0.076インチの公称直径の液化機では、適切な楕円化間隙 t_0 は0.001インチである。液化機内径と間隙の公差を考慮すると、式1は次のようになる。

【0062】

【数 1 3】

$$d_T < 0.074 - 6\sigma_F \quad \text{式 12}$$

【0063】

d_L に関する公称0.076直径値を式2に代入すると、次式を与える。

【0064】

【数 1 4】

$$0.064 \leq d_T \quad \text{式 13}$$

【0065】

次に、モデル強度および液化機溢流制約条件を検討する。標的充填百分率 (F_T) に関する適切な設定は、次式から見出される。

【0066】

【数 1 5】

$$F_T = \frac{1}{2}(F + 100) \quad \text{式 14}$$

【0067】

すなわち、上式は、工程ウィンドウの中間における標的値を設定するからである。式14を使用すると、少なくとも92%の充填率は96%の標的充填率を与える。これらの値を式5に代入すると、次のようなフィラメント製造公差を与える。

【0068】

10

20

30

40

50

【数 16】

$$\sigma_F \leq 0.007 \cdot d_T \quad \text{式 15}$$

【0069】

96%の標的充填率 F_T を式 6 に代入すると、過剰充填防止の製造公差を与える。すなわち、

【0070】

【数 17】

$$\sigma_F \leq 0.007 \cdot d_T \quad \text{式 16}$$

10

【0071】

最後に、無ヒステリシス公差要件を検討する。現在技術の熱溶解積層造形システムでは、典型的な路サイズは、路幅 W に関して 0.014 インチ ~ 0.035 インチの範囲、および路の高さ L に関して 0.007 インチ ~ 0.013 インチの範囲にある。本実施例では、例示的な値が、 $W = 0.020$ インチおよび $L = 0.010$ インチに設定される。メニスカスの最大予測移動 S_g は 0.030 インチと概算され、かつ許容継目間隙 S_s は、1つの路の幅に等しいように設定される。これらの例示的な値を式 11 に代入すると、公差を与える。すなわち、

20

【0072】

【数 18】

$$\sigma_F \leq \frac{0.0000283 \text{ in}^2}{d_T} \quad \text{式 17}$$

【0073】

式 17 は、米国特許出願第 09 / 960 , 133 号明細書および対応する国際特許出願公開第 PCT / US 02 / 29163 号パンフレット（参照により本明細書に組み込まれている）の教示にしたがって、 $d_F = d_T$ の場合に関して、正確な溶解流量補正が較正されているものと想定する。

30

【0074】

例示的な助変数に関して得られた式 12、13、15、16、および 17 が、フィラメント径および標準偏差に関する許容値を決定するために、図 7 に示すグラフ上に一緒に書き込まれている。

【0075】

図 7 中の境界線 54 は、液化機入口の直径 d_L である。線 56 の左側区域は、フィラメントが詰まらないための式 12 の基準を満たす。線 62 の右側区域は、滑らないための式 13 の基準を満たす。線 58 の下側区域は、所定のモデル破壊応力を保証する式 15 の基準を満たす。線 63 の下側区域は、液化機溢流防止に関する式 16 の基準を満たす。曲線 60 の下側区域は、適切な継目品質に関する式 17 の基準を満たす。これらの各区域の交差部分 64 は、フィラメント標的直径 d_T および標準偏差 σ_F に関する値を満足させる範囲である。

40

【0076】

標的直径は、図 7 の区域 64 の中で与えられる範囲から選択される。選択された標的直径では、要求される標準偏差が区域 64 の境界内に入っていないなければならない。本実施例の助変数では、強度および溢流要件は、継目公差要件に重複しており、この公差要件はさらに限定的であることが観察される。また、要求される d_T が d_L に近づけば近づくほど、それだけ標準偏差が小さくならねばならないことが例示されている。さらに、図 5 から、 d_T が d_L に近づけば近づくほど、それだけ過渡的効果が補正し易くなる。したがって

50

、標的フィラメント径の適切な選択は、曲線56と60の交点となる。この点では、標準偏差が最大化されるが、他方で過渡的效果を最小化する。図7から、この点は、0.0715インチの標的直径および0.0004インチの標準偏差である。

【0077】

従来技術の公称直径0.070インチのフィラメントに適用される公差限界は、 ± 0.0025 インチである。本発明の下で作製されるフィラメントは、従来技術の公差限界を超え、しかも標準偏差によって制約される直径変動がより小さくなる。本発明の造形フィラメントは、望ましい幾何学的形状とより適切に適合するモデルをもたらす。

【0078】

特定の一例が実施されているが、 W 、 L 、 S_s 、 S_g 、 d_L 、 t_0 、および F_T に関して使用した値は、この実施例で使用された値に限定されるものではない。これらの値は、使用される装置および作製すべきモデルの特徴に基づいて選択されるのが一般である。したがって、装置の変更は、 d_T に使用可能な値および本発明が教示する高精度フィラメントを実現するのに必要な F 値をもたらす。同様に、 W 、 L 、および S_s に対する異なるモデル要件は、使用可能な d_T および F の値をもたらす。

10

【0079】

(フィラメントを製造する例示的な実施形態)

ここで本発明にしたがってフィラメントを製造する方法を説明する。この製法は、冷却時に固化する広範囲の材料に関してフィラメントを製造するのに有用な要素を有する一方で、この例示的な製造実施形態は、相対的に高いガラス転移温度 T_g を有する熱可塑性材料を用いて行われる引抜き技法を利用する。摂氏106度(DMA法によって測定)を超えるガラス転移温度を有する熱可塑性材料は、押し出し直後の溶解物の望ましい高い粘性および急速冷却に耐える能力を示す傾向にある。本明細書では、このような材料を「高温熱可塑性樹脂」と呼ぶ。3次元造形に高温熱可塑性樹脂を選択することは、米国特許出願公開第09/854,220号明細書にさらに詳細に説明されており、参照によって本明細書に組み込まれる。

20

【0080】

図8は、本発明にしたがってフィラメントを製造するための例示的な工程手順を示す。熱可塑性材料は、そのチャート上の流れを実線によって表すが、混合、溶解、および調合が行われ(ボックス66)、次いで加圧されかつ調節供給される(ボックス68)。次ぎに、フィラメントが押し出され(ボックス70)、制御された張力 T の下でドロウダウンされ(ボックス72)、そして冷却される(ボックス74)。次ぎにフィラメントは、巻取り(ボックス78)前に測定される(ボックス76)。フィラメント測定データは、その流れを破線によって表すが、標的値、例えば、 d_T と比較される(ボックス80)。比較結果に基づいて、プルダウン張力 T は、フィラメントのサイズを制御するために、増大されるか、低減されるか、または同程度に維持される。

30

【0081】

図9は、例示的なフィラメント形成装置82の平面図を示し、スクリュウ押出機84を具備する。例示的なスクリュウ押出機84は、24:1以上の L/D (長さ対直径)比を有する、直径1~1.5インチの寸法を有する市販のものを含む。許容可能な代替物が当業者に知られている。スクリュウ押出機84は、サーボ制御モータ86、ホッパ88、胴部90、この胴部90の内部で回転するスクリュウ92、フィルタ・パックおよびブレーカ・プレート94、ならびに円形口98を有するダイ96を備える。別法として、当業で知られているギヤ溶解ポンプまたは他の均等な構造を組み込んでもよい。フィラメント20は、スクリュウ押出機84から出現し、ドロウダウンおよび冷却に続いて、巻枠110上に巻き取られる。

40

【0082】

ポリカーボネートのような高温熱可塑性樹脂を含めて、多くのポリマーは吸湿性である。供給材料中に存在する水分が押し出し過程時に重大な特性劣化を引き起こす恐れがあるので、必ずしも常に必要とは限らないが、粒化供給材料は、ホッパ88の中に投入する前に

50

乾燥されるのが好ましい。乾燥は、例えば、乾燥剤、減圧、および加熱法によって行うことができる。

【0083】

熱可塑性材料は、粒化された熱可塑性供給材料を含み、さらに着色料、柔軟剤、充填材、安定剤、抗酸化剤、または他の添加剤を追加的に含み得る。粒化された熱可塑性供給材料に加えて、任意の望ましい着色料、柔軟剤、充填剤、安定剤、抗酸化剤、他の添加剤をホッパ88の中に投入される。

【0084】

ホッパ88内部の熱可塑性材料は、スクリュウ押出機84の中に送出される。胴部90はこれらの材料を加熱する。スクリュウ92は、サーボ制御モータ86によって駆動される。スクリュウ92が回転するとき、それは最初に材料を混合し、調合し、かつ溶解を助ける。粘性抗力によって、材料はスクリュウ92の中にさらに送り込まれ、ダイ96に対して均一の圧力および流量を発生させる。別法として、当業で知られているように、ギヤ溶解ポンプをスクリュウ押出機84に取り付けて、ダイ96に対して望ましい均一の圧力および流量を実現することができる。

【0085】

例示的な1実施形態では、スクリュウ92からの溶解した熱可塑性樹脂がフィルタ・パックおよびブレカ・プレート94を通過する。フィルタ・パック94のサイズは、熱溶解積層造形工程時に、詰まり、バリ、または他の不具合を引き起こす恐れのある相対的に大きな粒子を除去するために、液化機口のサイズに関連付けられる。0.012インチ以上の液化機口の内径 d_n (図1参照)では、適切なフィルタ・パック94は3つのスクリーンから成り、それらの最も微細なものは、0.003インチ以下の穴を有する。より小さい液化機口の内径では、スクリーン穴のサイズを比例して小さくするべきである。別法では、金網キャニスタ・フィルタまたは他の高容量フィルタに溶解物を通過させることも含む。

【0086】

濾過され、溶解された熱可塑性材料は、図9に示すように、直径 d_E を有する過大寸法のフィラメント20として、円形口98を介してダイ96から押し出される。スクリュウ押出機84内部の熱可塑性材料の温度は、溶解した熱可塑性物がフィラメント20による押し出しを可能にするのに十分な流動性を有するように、 T_g 以上に維持されねばならない。ダイ96の温度が T_g を超えて上昇するとき、熱可塑性材料は温度上昇につれて流動性が高まる。しかし、ダイ96の温度は、新たに押し出されたフィラメント20が、破断せずに引き続いて均一に引き抜かれるのに十分な引っ張り強さを有する温度水準にフィラメント20を維持しなければならない。

【0087】

押し出されたフィラメント20は、下流側プラー102からの張力 T の下で、ダイ96とエア・ナイフ100との間の距離を横切る。下流側プラー102は、送出口ローラ104、モータ106、およびコントローラ108から構成される。例示的な1実施例では、送出口ローラ104の2個が、コントローラ108の制御下でモータ106によって駆動される鋸歯状駆動ローラ109である。残りの2個の送出口ローラは、駆動ローラ109がフィラメントに対して作用するときフィラメント20を支持するために、駆動ローラ109に近接して取り付けられた遊びローラである。コントローラ108は、ローラ104を駆動するモータ106に制御信号を送ることによってローラ速度を制御する。張力 T は、押し出し速度を一定に維持しながら、ローラ速度を変更することによって制御される。

【0088】

ウレタン・ローラ、単式ばね負荷鋸歯状ローラ、および複式ばね負荷鋸歯状ローラを含めて、様々なローラ個数の、数多くの様々な種類の送出口ローラが可能である。さらには、当業者には認識されているように、様々な別の形式のプラー手段がプラー102の代わりに使用可能である。一例として、巻枠110上へのフィラメントの巻取り制御によってフィラメント張力を発生させることを含む。

10

20

30

40

50

【0089】

プラー102がフィラメント20に及ぼす力によって、フィラメント20は伸長されかつドロダウンされる。ドロダウン直径 d_F に対する押出し直径 d_E の比は、1.05:1と1.75:1の間であることが好ましい。高い T_g を有する熱可塑性材料は、より低い T_g を有する材料よりも大きなドロダウンを有し得る。

【0090】

引き抜かれたフィラメント20は、このフィラメント20に向かって空気を剪断するエア・ナイフ100を通過する。この例示的な実施形態では、エア・ナイフ100には、冷却、濾過、および乾燥された空気が供給される。エア・ナイフ100に供給される空気は、油または他の化学的汚染物が存在すると、フィラメントにひび割れを生じ、爾後の処理で破壊を誘発する恐れがあるのでポンプ油および微粒子を排除するために濾過される。

10

【0091】

フィラメント20は、エア・ナイフ100の次ぎに、平均フィラメント温度を下げ続ける延在冷却域112を通過する。この例示的な実施形態では、この延在冷却域112には低速で、乾燥した、濾過済みの空気が供給されている。冷却域における5から10秒の滞留時間が一般には十分である。別法による実施形態では、フィラメントは、溶媒による浸漬または噴霧のような他の方法を使用して冷却可能である。

【0092】

次いで、冷却されたフィラメント20の直径を測定する。この例示的な実施形態では、2軸レーザ・マイクロメータ114を使用して測定が行われる。図10は測定の詳細を示し、フィラメント20が図から出現するところを眺めている。直交するライト・シート116が、測定域を通過してCCDアレイ118および120上で検出される。図11Aおよび11Bは、受取り強度(垂直)対位置の図示である。フィラメントが投げかける影は、CCDアレイによって測定された直交する影の直径 d_1 および d_2 と解釈される。フィラメント径は、別法として、米国特許第6,085,957号明細書に示されている容量性、空気圧、および転がり接触センサのような他の手段によって測定してもよい。

20

【0093】

図9に示すように、マイクロメータ114は、頻繁に d_1 および d_2 を測定して、直径 d_1 および d_2 をシステム・コントローラ108に送る。システム・コントローラ108は、測定された直交する影の直径 d_1 および d_2 を平均し、瞬間的なフィラメント径 d_F 、長期平均フィラメント径 $\langle d_F \rangle$ 、およびフィラメントの長さに沿って $\langle d_F \rangle$ のばらつきを表す長期標準偏差 σ_F を生成する。 $\langle d_F \rangle$ の標的値は d_T として設定され、標準偏差は、図7により導き出されかつ分析された公差要件にしたがって維持される。システム・コントローラ108は、プラー102制御張力 T を調整するPID(比例・積分・微分)ループを駆動するために、 d_F と $\langle d_F \rangle$ の加重平均を利用する。この例示的な実施形態では、直径 d_1 および d_2 は、毎分約100回測定され、かつ約12~15秒の範囲にわたって平均される。当業者には明らかなように、平均偏差および標準偏差を算出するための実行測定回数および時間幅は変更可能である。

30

【0094】

別法による1実施形態では、システム・コントローラ108は、巻枠110上へのフィラメント20の巻取り速度を調整することによって張力 T を制御する。張力 T を制御する別法は、一定のローラ速度を維持しながら、押出し速度をシステム制御するものとなる。さらに他の別法では、システム・コントローラ108を使用して押出し速度とローラ速度の両方を変更するものとなる。

40

【0095】

他の別法による実施形態では、押し出されたフィラメント20の直径 d_E は、フィラメントが引き抜かれかつ冷却される前に押出機ダイ96の直後で、マイクロメータによって測定される。システム・コントローラは、張力 T を制御するプラー102を調整するPIDループを駆動するために d_E と $\langle d_E \rangle$ の加重平均を利用する。この実施例は、測定と引抜き過程制御との間の遅延時間を短縮する利点を有するが、中間的な直径しか測定しな

50

い欠点を有する。追加的な1実施形態は、 d_E と d_F の両方を測定し、かつこれらの助変数の両方を使用して引抜き過程を制御することができる。

【0096】

ブラー102から出現するフィラメント20は、巻枠110上に巻き付けられる。巻取り後に、フィラメント20は、その湿分を低減するために通常は真空乾燥される。2001年2月27日に出願の米国特許出願公開第09/804,401号明細書に説明されているように、フィラメント中の過剰な溶媒または水分は、液化機中で気体および異常圧を発生させるので、巻き取られたフィラメントの湿分は一般に問題である。フィラメント20は、その用途である造形システムの要件にしたがって、それを巻枠110上に巻き取ってから乾燥可能である。

10

【0097】

本発明にしたがってフィラメントを製造するための他の技法が当業者には認識されよう。例えば、第2の例示的な製造実施形態では、フィラメントを最初にサイズを下回って形成し、次いで環状押出しのための中実の芯として使用する。第3の例示的な実施形態では、厳密な公差を実現するために、第2のダイによってわずかに過剰サイズのフィラメントにサイズ決めされる。

【0098】

例示的な実施形態を参照して本発明を説明してきたが、当業者には本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく形態および細部の変更がなされ得ることが認識されよう。例えば、本発明は、フィラメント径を制御助変数として利用する。別法による実施形態では、制御助変数として断面積または半径のような他の寸法を利用することができよう。

20

【図面の簡単な説明】

【0099】

【図1】図1は、液化機の1実施形態の部分を断面で示す平面図である。

【図2】図2は、熱溶解積層造形法によって作製された例示的なモデルを示す断面図である。

【図3】図3は、熱溶解積層造形法によって創成されたポリカーボネート製モデルに関する、充填百分率対相対破壊応力を示す図である。

【図4】図4Aおよび4Bは、低い送出速度および高い送出速度における、未溶解フィラメントと液化機の内壁との間の間隙距離の部分断面をそれぞれに示す平面図である。

30

【図5】図5は、路幅のヒステリシス効果を証明する図である。

【図6】図6は、例示的なモデルにおける間隙距離を示す斜視図である。

【図7】図7は、本発明にしたがうフィラメント公差限界を示す図である。

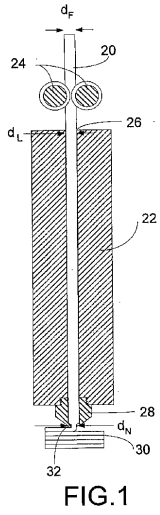
【図8】図8は、例示的なフィラメント製造手順を示すフロー・チャートである。

【図9】図9は、フィラメント形成装置の1実施形態の部分を断面で示す平面図である。

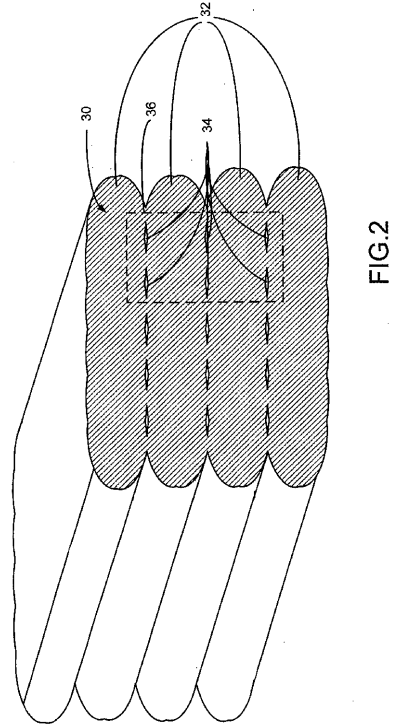
【図10】図10は、図9に示すレーザ・マイクロメータの1実施形態を示す平面図である。

【図11】図11は、受取り強度対位置を示すレーザ・マイクロメータ測定値を示す2つの図である。

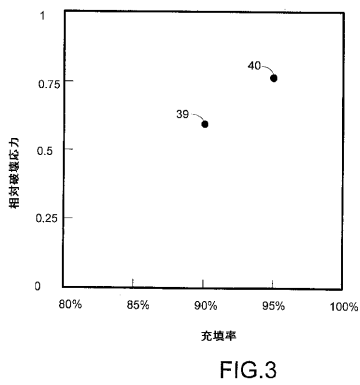
【 図 1 】



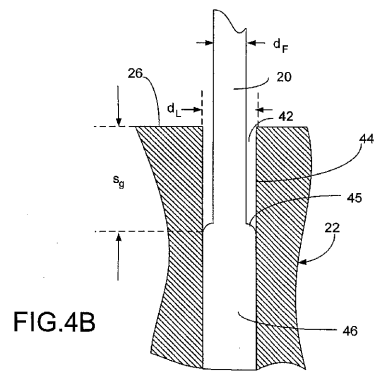
【 図 2 】



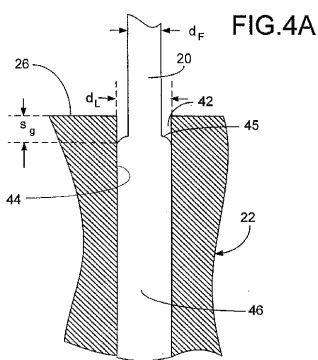
【 図 3 】



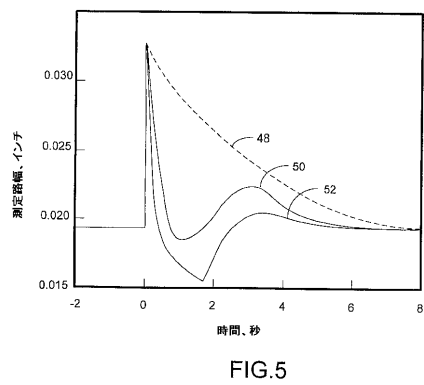
【 図 4 B 】



【 図 4 A 】



【 図 5 】



【 図 6 】

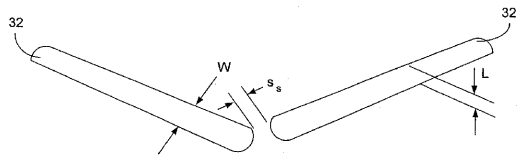


FIG.6

【 図 7 】

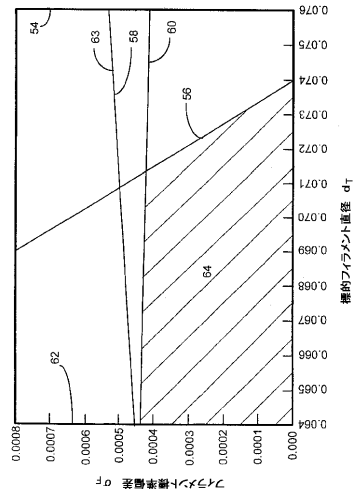


FIG.7

【 図 8 】

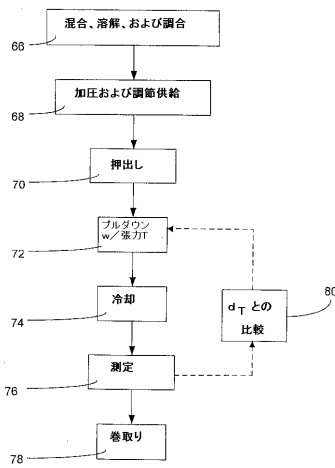


FIG.8

【 図 9 】

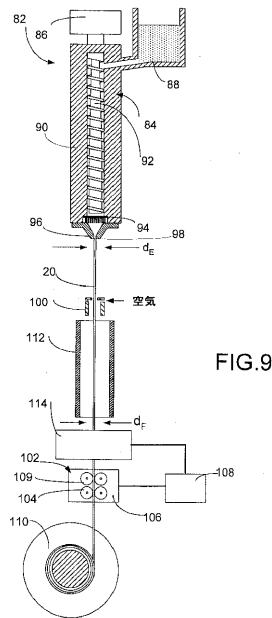
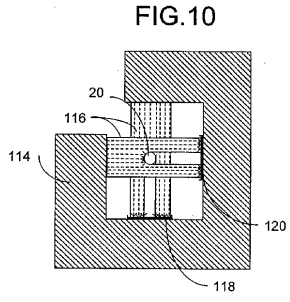
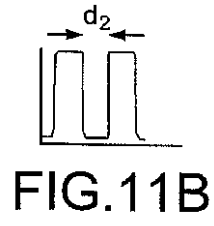


FIG.9

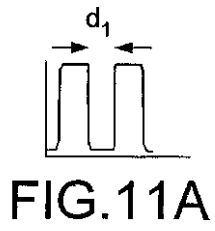
【 図 1 0 】



【 図 1 1 B 】



【 図 1 1 A 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/11888
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : D02G 3/00; B29C 47/06		
US CL : 428/364, 397, 401; 264/177.1, 255, 308		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 428/364, 397, 401; 264/177.1, 255, 308		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Please See Continuation Sheet		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5,121,329 A (CRUMP) 09 June 1992 (09.06.1992), see entire document.	1-24
Y	US 5,340,433 A (CRUMP) 23 August 1994 (24.08.1994), see entire document.	1-24
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 13 August 2003 (13.08.2003)		Date of mailing of the international search report 03 SEP 2003
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized officer <i>Mark Vashoo</i> Mark Vashoo, Ph.D. Telephone No. (703) 308-0661

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US03/11888

Continuation of B. FIELDS SEARCHED Item 3:
EAST
keywords: modeling, diameter extrusion, filament

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN, GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC, EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,M X,MZ,NI,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72) 発明者 コム, ジェイムズ ダブリュー.

アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-2020, エデン プレイリー, マーティン ドラ
イブ 14950, ストラッタシス, インコーポレイテッド気付

(72) 発明者 ブリードマン, ウィリアム アール. ジュニア

アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-2020, エデン プレイリー, マーティン ドラ
イブ 14950, ストラッタシス, インコーポレイテッド気付

(72) 発明者 リービット, ポール ジェイ.

アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-2020, エデン プレイリー, マーティン ドラ
イブ 14950, ストラッタシス, インコーポレイテッド気付

(72) 発明者 スクビック, ロバート エル.

アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-2020, エデン プレイリー, マーティン ドラ
イブ 14950, ストラッタシス, インコーポレイテッド気付

(72) 発明者 バットチェルダール, ジョン サミュエル

アメリカ合衆国 ミネソタ 55344-2020, エデン プレイリー, マーティン ドラ
イブ 14950, ストラッタシス, インコーポレイテッド気付

Fターム(参考) 4F207 AG14 AR12 KA01 KA17 KL63 KL74 KL83 KM15

4L035 BB31 DD01 DD14

4L036 MA04 MA34 PA01 PA49