

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6972169号  
(P6972169)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月5日(2021.11.5)

(51) Int. Cl. F I  
**B 2 4 B 39/06 (2006.01)** B 2 4 B 39/06  
**B 2 4 B 1/04 (2006.01)** B 2 4 B 1/04 C

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2019-555210 (P2019-555210)	(73) 特許権者	390041542
(86) (22) 出願日	平成29年4月21日 (2017.4.21)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公表番号	特表2020-517469 (P2020-517469A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
(43) 公表日	令和2年6月18日 (2020.6.18)		45、スケネクタデイ、リバーロード、1
(86) 国際出願番号	PCT/CN2017/081353		番
(87) 国際公開番号	W02018/191931	(74) 代理人	100105588
(87) 国際公開日	平成30年10月25日 (2018.10.25)		弁理士 小倉 博
審査請求日	令和2年4月13日 (2020.4.13)	(72) 発明者	カオ、チン
			中華人民共和国 シャンハイ 20120
			3 プートン、カイルン ロード、ナンバ
			ー 1800、2ダブリュー070
		(72) 発明者	ウー、インナー
			中華人民共和国 シャンハイ 20120
			3 プートン、カイルン ロード、ナンバ
			ー 1800、2ダブリュー22
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波ローラバニシングシステムおよび方法、ならびに部品の加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波ローラバニシングシステム(10)であって、

ワーク(40)の表面に押し込み深さ(D)まで押圧され、送り速度(f)で前記表面上で転動し、背圧(BP)下で超音波周波数で振動するように構成されたローラ(26)と、ここで前記ローラ(26)は駆動モータ(28)によって駆動される動作ユニットによって押圧および転動され、前記ローラ(26)の前記振動は、入力電流(I)が入力される超音波振動ユニット(22)によって駆動され、

予測残留圧縮応力(Se)と前記駆動モータ(28)のリアルタイム出力(Pr)とに基づいて、前記押し込み深さ(D)、前記背圧(BP)、前記入力電流(I)および前記送り速度(f)のうち少なくとも1つを調整して、前記予測残留圧縮応力(Se)に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力を前記ワーク(40)に生成するように構成されたコントローラ(30)と

を備える超音波ローラバニシングシステム(10)。

【請求項2】

前記コントローラ(30)が、前記予測残留圧縮応力(Se)と前記リアルタイム出力(Pr)とに基づいて、予測押し込み深さ(De)、予測背圧(BPe)、予測入力電流(Ie)および予測送り速度(fe)のうち少なくとも1つを計算し、前記押し込み深さ(D)、前記背圧(BP)、前記入力電流(I)および前記送り速度(f)のうち少なくとも1つを調整するように構成される、請求項1に記載の超音波ローラバニシングシステ

ム(10)。

【請求項3】

前記コントローラ(30)が、

前記予測残留圧縮応力(Se)に基づいて予測出力(Pe)を計算するように構成された第1の計算機(31)と、

前記予測出力(Pe)と前記リアルタイム出力(Pr)とに基づいて、前記予測押し込み深さ(De)、前記予測背圧(BPe)、前記予測入力電流(Ie)および前記予測送り速度(fe)のうち少なくとも1つを計算するように構成された第2の計算機(32)と

を備える、請求項2に記載の超音波ローラバニシングシステム(10)。

10

【請求項4】

超音波ローラバニシング法(60)であって、

ワーク(40)の表面に押し込み深さ(D)までローラ(26)を押圧し、駆動モータ(28)によって駆動される動作ユニットによって送り速度(f)で前記表面上で回転するように前記ローラ(26)を駆動することと、

背圧(BP)下で超音波周波数で前記ローラ(26)を振動させることと、ここで前記ローラ(26)の前記振動は、入力電流(I)が入力される超音波振動ユニット(22)によって駆動され、

予測残留圧縮応力(Se)と前記駆動モータ(28)のリアルタイム出力(Pr)とに基づいて、前記押し込み深さ(D)、前記背圧(BP)、前記入力電流(I)および前記送り速度(f)のうち少なくとも1つを調整して、前記予測残留圧縮応力(Se)に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力を前記ワーク(40)に生成することと

20

を含む超音波ローラバニシング法(60)。

【請求項5】

前記調整が、

前記予測残留圧縮応力(Se)と前記リアルタイム出力(Pr)とに基づいて、予測押し込み深さ(De)、予測背圧(BPe)、予測入力電流(Ie)および予測送り速度(fe)のうち少なくとも1つを計算することと、

前記押し込み深さ(D)、前記背圧(BP)、前記入力電流(I)および前記送り速度(f)のうち少なくとも1つを調整することと

30

を含む、請求項4に記載の超音波ローラバニシング法(60)。

【請求項6】

前記計算が、

前記予測残留圧縮応力(Se)に基づいて予測出力(Pe)を計算することと、

前記予測出力(Pe)と前記リアルタイム出力(Pr)とに基づいて、前記予測押し込み深さ(De)、前記予測背圧(BPe)、前記予測入力電流(Ie)および前記予測送り速度(fe)のうち少なくとも1つを計算することと

を含む、請求項5に記載の超音波ローラバニシング法(60)。

40

【請求項7】

部品の加工方法(70)であって、

前記部品の残留圧縮応力の予測分布を決定することと、ここで前記予測分布は、前記部品上の少なくとも1つの予測領域の位置情報と、前記予測領域に対応する予測残留圧縮応力(Se)とを含み、

ローラ(26)を備える超音波ローラバニシング装置(20)を用いて前記予測領域を加工して、前記対応する予測残留圧縮応力(Se)に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力を前記予測領域に生成することであって、

前記予測領域の表面に押し込み深さ(D)まで前記ローラ(26)を押圧し、駆動モータ(28)によって駆動される動作ユニットによって送り速度(f)で前記表面上で回転するように前記ローラ(26)を駆動することと、

50

背圧（ＢＰ）下で超音波周波数で前記ローラ（２６）を振動させることと、ここで前記ローラ（２６）の前記振動は、入力電流（Ｉ）が入力される超音波振動ユニット（２２）によって駆動され、

前記予測残留圧縮応力（Ｓｅ）と前記駆動モータ（２８）のリアルタイム出力（Ｐｒ）とに基づいて、前記押し込み深さ（Ｄ）、前記背圧（ＢＰ）、前記入力電流（Ｉ）および前記送り速度（ｆ）のうち少なくとも１つを調整することと

を含む、生成することと

を含む、加工方法（７０）。

#### 【請求項 8】

前記予測分布が、第 1 の予測領域（８１）の位置情報および前記第 1 の予測領域（８１）に対応する第 1 の予測残留圧縮応力（Ｓ１）と、第 2 の予測領域（８２）の位置情報および前記第 2 の予測領域（８２）に対応する第 2 の予測残留圧縮応力（Ｓ２）とを含み、前記残留圧縮応力の前記生成が、

前記部品の前記第 1 の予測領域（８１）を加工して、前記第 1 の予測残留圧縮応力（Ｓ１）に基づいて事前に決定された第 1 の予測範囲内にある第 1 の残留圧縮応力を前記第 1 の予測領域（８１）に生成することと、

前記部品の前記第 2 の予測領域（８２）を加工して、前記第 2 の予測残留圧縮応力（Ｓ２）に基づいて事前に決定された第 2 の予測範囲内にある第 2 の残留圧縮応力を前記第 2 の予測領域（８２）に生成することと

を含む、請求項 7 に記載の加工方法（７０）。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本開示の実施形態は、一般に、超音波ローラパニングシステムおよび方法に関し、さらに具体的には、部品の加工方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

残留圧縮応力とは、応力の元の原因が取り除かれた後に固体材料に残る圧縮応力を指す。残留圧縮応力は、部品の疲労寿命を効果的に延ばし、腐食疲労を緩和し、応力腐食割れを低減することができる。

#### 【0003】

従来の方法では、残留圧縮応力は、超音波ローラパニング法によって部品に誘導することができる。場合によっては、部品の異なる領域ごとに異なる値の残留圧縮応力が必要になる。しかし、従来の超音波ローラパニング法は、誘導される残留圧縮応力の値を制御することができず、したがって、部品の性能要件を十分に満たすことができない。

#### 【0004】

したがって、上記の問題を解決するために、新規の超音波ローラパニングシステムおよび方法、ならびに部品を加工するための新規の方法を提供することが望ましい。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献 1】欧州特許第 2 5 1 9 3 8 0 B 1 号明細書

#### 【発明の概要】

#### 【0006】

一態様では、超音波ローラパニングシステムは、ローラとコントローラとを備える。ローラは、ワークの表面に押し込み深さまで押圧され、表面を送り速度で回転し、背圧下で超音波周波数で振動するように構成され、ローラは、駆動モータによって駆動される動作ユニットによって押圧および回転され、ローラの振動は、入力電流が入力される超音波振動ユニットによって駆動される。コントローラは、予測残留圧縮応力と駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少な

10

20

30

40

50

くとも1つを調整して、予測残留圧縮応力に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力をワークに生成するように構成される。

【0007】

別の態様では、超音波ローラバニシング法は、ワークの表面に押し込み深さまでローラを押圧し、駆動モータによって駆動される動作ユニットによって送り速度で表面上で回転するようにローラを駆動することと、背圧下で超音波周波数でローラを振動させることと、ここでローラの振動は、入力電流が入力される超音波振動ユニットによって駆動され、予測残留圧縮応力と駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つを調整して、予測残留圧縮応力に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力をワークに生成することを含む。

10

【0008】

別の態様では、部品の加工方法は、部品の残留圧縮応力の予測分布を決定することを含み、予測分布は、部品上の少なくとも1つの予測領域の位置情報と、予測領域に対応する予測残留圧縮応力とを含む。該方法は、ローラを備える超音波ローラバニシング装置を用いて予測領域を加工して、対応する予測残留圧縮応力に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力を予測領域に生成することをさらに含む。加工の工程は、予測領域の表面に押し込み深さまでローラを押圧し、駆動モータによって駆動される動作ユニットによって送り速度で表面上で回転するようにローラを駆動することと、背圧下で超音波周波数でローラを振動させることと、ここでローラの振動は、入力電流が入力される超音波振動ユニットによって駆動され、予測残留圧縮応力と駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つを調整することを含む。

20

【0009】

本開示のこれらの、ならびに他の特徴、態様および利点は、添付の図面を参照しつつ以下の詳細な説明を読めば、さらによく理解されよう。添付の図面では、図面の全体にわたって、類似する符号は類似する部分を表す。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本開示の例示的な実施形態による超音波ローラバニシングシステムのスケッチ図であり、超音波ローラバニシングシステムはコントローラを備える。

30

【図2】本開示の例示的な実施形態による図1のコントローラのスケッチ図である。

【図3】本開示の例示的な実施形態による超音波ローラバニシング法を示すフローチャートである。

【図4】本開示の別の例示的な実施形態による超音波ローラバニシング法を示すフローチャートである。

【図5】本開示の例示的な実施形態による、部品の加工方法を示すフローチャートである。

【図6】本開示の例示的な実施形態による、部品の残留圧縮応力分布を示すスケッチ図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0011】

これらの実施形態の簡潔な説明を提供しようとしているが、実際の実施のすべての特徴を1つ以上の特定の実施形態に記載しているわけではない。エンジニアリングまたは設計プロジェクトなどの実際の実施の開発では、開発者の特定の目的を達成するために、例えばシステム関連および事業関連の制約条件への対応など実施に特有の決定を数多く下さなければならず、これらの制約条件は実施ごとに異なる可能性があることを理解されたい。さらに、そのような開発の努力は、複雑かつ時間を必要とするものであり得るが、それでもなお本開示の恩恵を被る当業者にとって設計、製作および製造の日常的な取り組みにすぎないと考えられることを理解されたい。

【0012】

50

特に明記しない限り、本明細書で使用される技術用語および科学用語は、本開示が属する当業者により一般的に理解されるものと同じ意味を有する。本明細書で用いられる「第1の」、「第2の」、「第3の」、「第4の」などの用語は、いかなる順序、量または重要性も意味するものではなく、むしろ1つの要素と別の要素とを区別するために用いられる。また、単数形での記述（「1つの(a, an)」）は、量の限定を意味するものではなく、むしろそこで言及される項目が少なくとも1つ存在することを意味する。「または」という用語は、包括的であって、列挙された項目のうちのいずれか、いくつか、またはすべてを意味する。本明細書における「含む(including)」、「備える(comprising)」または「有する(having)」ならびにこれらの変形の使用は、その後列挙される項目およびその均等物ならびに追加の項目を含むことを意味する。

10

#### 【0013】

本開示の実施形態は、部品の製造および加工に広く適用することができる超音波ローラバニシングシステムに関する。このシステムは、部品の性能を最適化するために、部品の表面層に残留圧縮応力を誘導し、残留圧縮応力の値または垂直分布を制御することができる。

#### 【0014】

図1は、本開示の例示的な実施形態による超音波ローラバニシングシステム10のスケッチ図を示す。図1を参照すると、超音波ローラバニシングシステム10は、ワーク40を加工するように構成された超音波ローラバニシング装置20と、超音波ローラバニシング装置20を制御してワーク40を加工するように構成されたコントローラ30とを備える。

20

#### 【0015】

超音波ローラバニシング装置20は、動作ユニットと、シェル29と、背圧装置23と、超音波振動ユニット22と、ローラ26とを備える。動作ユニットは、駆動モータ28と、シェル29を駆動してワーク40に対して移動させるように構成された複数の動作部品211、212、213とを備える。超音波振動ユニット22は、超音波発生器221と、超音波トランスデューサ222と、超音波ホーン223とを備える。背圧装置23、超音波トランスデューサ222、超音波ホーン223は、シェル29に収容される。ローラ26は、超音波ホーン223に回転可能に連結され、シェル29内に部分的に収容される。ローラ26は、それ自体の軸または中心の周りを回転することができ、球または円柱の形状であってよいが、これらの形状に限定されない。

30

#### 【0016】

超音波振動ユニット22は、入力電流Iを受け取り、ローラ26を駆動して超音波周波数で振動させるように構成される。超音波発生器221は、入力電流Iを受け取り、超音波周波数で振動電流を出力するように構成される。以下で言及される超音波周波数とは、例えば約20~約30キロヘルツの範囲の20キロヘルツよりも高い周波数を指す。超音波トランスデューサ222は、超音波発生器221と連結され、振動電流を超音波周波数の機械的振動に変換するように構成される。超音波トランスデューサ222は、磁歪トランスデューサ、圧電セラミックトランスデューサまたはそれらの組合せを含み得る。超音波ホーン223は、超音波トランスデューサ222と連結され、機械的振動の振幅を増幅するように構成される。ローラ26は、超音波ホーン223がローラ26を直接駆動して超音波周波数で振動させるように構成されるように、超音波ホーン223と連結される。ローラは、入力電流Iの値に対応する振動強度を有する。いくつかの実施形態では、ローラは、例えば、約10ミクロン~約50ミクロンの範囲、または約10ミクロン~12ミクロンの範囲の100ミクロン未満の振動振幅を有する。いくつかの実施形態では、ローラは、ワーク40の表面に垂直な方向に振動する。

40

#### 【0017】

背圧装置23は、ローラ26に背圧BPを加えるように構成され、したがって、ローラはこの圧力をワーク40に伝達する。背圧BPはまた、ローラ26の振動に対する抵抗を増加させ、それにより振動の安定性を増加させるように構成される。背圧装置23は、空

50

気圧装置、油圧装置、ばね、またはそれらの組合せを備えてもよい。いくつかの実施形態では、背圧装置 23 は、その中のガスを圧縮することによって背圧を生成する空気圧装置を備える。背圧装置 23 は、ガスの圧力を調整し、それによりローラ 26 に加えられる背圧の値を調整するための比例弁をさらに備えてもよい。

【0018】

駆動モータによって駆動される動作ユニットは、シェル 29 およびローラ 26 をワーク 40 に対して移動させるように構成される。例えば、動作ユニットは、ワークの表面に垂直な方向にローラ 26 を移動させるように構成される。したがって、動作ユニットは、ワークの表面に押し込み深さ D までローラ 26 を押し付けるように構成され、押し込み深さ D は、コントローラ 30 からのコマンドまたは指示に従って調整することができる。動作ユニットはまた、送り速度でワーク 40 の表面上を転動するようにローラ 26 を駆動するように構成される。したがって、ローラ 26 は、送り速度で表面上を転動しながら、ワークの表面に押圧され得る。

10

【0019】

超音波ローラバニング装置が作動すると、ローラが表面に押圧され、表面上を転動し、同時に振動して、ワークの表面を研磨し、ワークに残留圧縮応力を誘導する。駆動モータの出力は、誘導される残留圧縮応力を示すことができ、駆動モータの出力は、押し込み深さ D、背圧 BP、入力電流 I および送り速度 f に依存する。したがって、駆動モータの出力と残留圧縮応力とは、押し込み深さ D、背圧 BP、入力電流 I および送り速度 f のうち少なくとも 1 つを調整することによって制御することができる。

20

【0020】

コントローラ 30 は、予測残留圧縮応力  $S_e$  と駆動モータ 28 のリアルタイム出力  $P_r$  とに基づいて、押し込み深さ D、背圧、入力電流 I および送り速度 f のうち少なくとも 1 つを調整して、ワークに残留圧縮応力を生成するように構成される。生成された残留圧縮応力は、予測残留圧縮応力  $S_e$  に基づいて事前に決定された予測範囲内にある。いくつかの実施形態では、予測残留圧縮応力とは、特定の深さでの残留圧縮応力の値、または特定の深さ範囲での残留圧縮応力の平均値を指す。予測範囲とは、残留圧縮応力の値または平均値を中心とする値の範囲を指す。具体的には、コントローラ 30 は、予測残留圧縮応力  $S_e$  とリアルタイム出力  $P_r$  とに基づいて、予測押し込み深さ  $D_e$ 、予測背圧  $BP_e$ 、予測入力電流  $I_e$  および予測送り速度  $f_e$  のうち少なくとも 1 つを計算するように構成される。次に、予測押し込み深さ  $D_e$ 、予測背圧  $BP_e$ 、予測入力電流  $I_e$  および予測送り速度  $f_e$  のうち少なくとも 1 つに応じて、押し込み深さ D、背圧、入力電流 I および送り速度 f のうち少なくとも 1 つが調整される。

30

【0021】

いくつかの実施形態では、コントローラ 30 は、予測残留圧縮応力  $S_e$  とリアルタイム出力  $P_r$  とに基づいて、予測押し込み深さ  $D_e$ 、予測背圧  $BP_e$ 、予測入力電流  $I_e$  および予測送り速度  $f_e$  を計算するように構成される。次に、予測押し込み深さ  $D_e$ 、予測背圧  $BP_e$ 、予測入力電流  $I_e$  および予測送り速度  $f_e$  に応じて、押し込み深さ D、背圧、入力電流 I および送り速度 f が調整される。

【0022】

図 2 を参照すると、コントローラ 30 は、第 1 のコントローラ 31 と第 2 のコントローラ 32 とを備える。第 1 の計算機 31 は、予測残留圧縮応力  $S_e$  に基づいて、予測出力  $P_e$  を計算するように構成される。第 2 の計算機 32 は、予測出力  $P_e$  とリアルタイム出力  $P_r$  とに基づいて、予測押し込み深さ  $D_e$ 、予測背圧  $BP_e$ 、予測入力電流  $I_e$  および予測送り速度  $f_e$  のうち少なくとも 1 つを計算するように構成される。

40

【0023】

本開示の実施形態はまた、ワークを加工するための超音波ローラバニング法に関する。該方法は、駆動モータの出力をリアルタイムで監視することによって、ワークに誘導される残留圧縮応力の値または状態を効果的に制御することができる。

【0024】

50

図3は、本開示の例示的な実施形態による、超音波ローラバニシング装置を用いてワークを加工するための超音波ローラバニシング法50を示すフローチャートであり、超音波ローラバニシング装置はローラおよび動作ユニットを備える。図3を参照すると、方法50は工程51～55を含む。方法50の動作は機能ブロックとして示されているが、ブロックの順序と、図3に示される様々なブロック間の動作の分離とは、限定することを意図していない。例えば、ブロックは異なる順序で実行されてもよく、1つのブロックに関連付けられた動作は1つ以上の他のブロックと組み合わせられてもよい、いくつかのブロックに細分されてもよい。

【0025】

工程51では、実際の必要性に応じて、ワークの予測残留圧縮応力が決定される。予測残留圧縮応力とは、誘導されることが望ましい残留圧縮応力の予測される状態を指し、この予測される状態は、特定の深さでの残留圧縮応力の値、特定の深さ範囲での残留圧縮応力の分布、特定の深さ範囲での残留圧縮応力の平均値、またはそれらの組合せを含んでもよい。

10

【0026】

工程52では、動作ユニットは、ワークの表面に押し込み深さまで超音波ローラバニシング装置のローラを押圧し、ローラを駆動して送り速度で表面上を転動させる。動作ユニットは、駆動モータによって駆動される。いくつかの実施形態では、動作ユニットは、ローラを駆動して、事前設定された経路に沿って表面上を転動させる。

【0027】

20

工程53では、ローラは、背圧下で超音波周波数で振動し、ローラの振動は、入力電流が入力される超音波振動ユニットによって駆動される。振動の振幅または強度は、入力電流の周波数または振幅を変化させることによって調整され得る。いくつかの実施形態では、ローラの振動は表面に垂直な方向である。ローラに加えられる背圧は、背圧装置によって生成される。

【0028】

工程54では、駆動モータのリアルタイム出力が検出される。駆動モータの出力は、誘導される残留圧縮応力を示すことができるため、駆動モータの出力を制御することによって残留圧縮応力を制御することができる。駆動装置の出力と生成された残留圧縮応力との間には関係があり、この関係は1つ以上の数学的モデルによって表すことができる。

30

【0029】

工程55では、工程51で決定された予測残留圧縮応力と工程54で検出された駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つを調整して、予測残留圧縮応力に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力をワークに生成する。

【0030】

いくつかの実施形態では、該方法は、予測残留圧縮応力に基づいて、予測出力を計算することをさらに含む。調整は、予測出力とリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つを調整することを含む。具体的には、予測出力がリアルタイム出力よりも高い場合、調整は、押し込み深さ、背圧および入力電流のうち少なくとも1つを増やすこと、および/または送り速度を下げることを含む。予測出力がリアルタイム出力よりも低い場合、調整は、押し込み深さ、背圧および入力電流のうち少なくとも1つを減らすこと、および/または送り速度を上げることを含む。

40

【0031】

いくつかの実施形態では、工程55は、予測残留圧縮応力とリアルタイム出力とに基づいて、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度のうち少なくとも1つを計算することと、次に、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度のうち少なくとも1つに応じて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つを調整することとをさらに含む。

【0032】

50

いくつかの実施形態では、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度のうち少なくとも1つを計算することは、予測残留圧縮応力に基づいて予測出力を計算することと、予測出力とリアルタイム出力とに基づいて、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度のうち少なくとも1つを計算することを含む。

【0033】

いくつかの実施形態では、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度はいずれも、予測残留圧縮応力と駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて調整される。したがって、工程55は、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度を計算することと、次に、予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度に応じて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度を調整することを含む。予測押し込み深さ、予測背圧、予測入力電流および予測送り速度の複数のセットが、予測残留圧縮応力とリアルタイム出力とに基づいて得られ得ることは言及するに値する。実際の必要性に応じて、それらの最適なセットを調整基準として選択することができる。

10

【0034】

いくつかの実施形態では、応答速度を改善するために、4つのパラメータ、すなわち、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度の一部のみが選択されて調整される。

【0035】

図4は、本開示の別の例示的な実施形態による超音波ローラバニシング法60を示すフローチャートである。

【0036】

工程61～64は、図3に示される方法50の工程51～54とそれぞれ同様であり、ここでは繰り返さない。

20

【0037】

工程65では、リアルタイム押し込み深さ、リアルタイム背圧、リアルタイム入力電流およびリアルタイム送り速度のうち少なくとも1つが検出される。検出されたリアルタイムパラメータは、他のパラメータならびに予測残留圧縮応力およびリアルタイム出力のための調整基準として使用される。

【0038】

工程66では、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも1つが、予測残留圧縮応力と、リアルタイム出力と、工程65で得られたリアルタイムパラメータとに基づいて調整される。

30

【0039】

例えば、工程65ではリアルタイム入力電流が検出される。次に、工程66では、予測残留圧縮応力、リアルタイム出力およびリアルタイム入力電流に基づいて、押し込み深さ、背圧および送り速度が調整される。具体的には、予測押し込み深さ、予測背圧および予測送り速度が、予測残留圧縮応力、リアルタイム出力およびリアルタイム入力電流とに基づいて計算され、次に、押し込み深さ、背圧および送り速度が、予測押し込み深さ、予測背圧および予測送り速度に応じて調整される。

【0040】

本開示の実施形態はまた、タービンブレードまたは航空機ブレードの製造に広く適用することができる部品の加工方法に関する。該方法は、部品の残留圧縮応力の予測分布を決定することを含み、予測分布は、部品上の少なくとも1つの予測領域の位置情報と、予測領域に対応する予測残留圧縮応力とを含む。該方法は、ローラを備える超音波ローラバニシング装置を用いて予測領域を処理して、部品に残留圧縮応力の望ましい分布を誘導することができるように、対応する予測残留圧縮応力に基づいて事前に決定された予測範囲内にある残留圧縮応力を予測領域に生成することをさらに含む。

40

【0041】

図5は、本開示の例示的な実施形態による、部品の加工方法70を示すフローチャートである。図5を参照すると、方法70は工程71～73を含む。

【0042】

50

工程 7 1 では、部品の残留圧縮応力の予測分布が決定される。図 6 に示すように、予測分布は、部品上の第 1 の予測領域 8 1 の位置情報、第 1 の予測領域 8 1 に対応する第 1 の予測残留圧縮応力  $S_1$ 、部品上の第 2 の予測領域 8 2 の位置情報、および第 2 の予測領域 8 2 に対応する第 2 の予測残留圧縮応力  $S_2$  を含む。

【 0 0 4 3 】

工程 7 2 では、第 1 の予測領域 8 1 を加工して、第 1 の予測残留圧縮応力  $S_1$  に基づいて事前に決定された第 1 の予測範囲内にある第 1 の残留圧縮応力を第 1 の予測領域に生成する。

【 0 0 4 4 】

工程 7 3 では、第 2 の予測領域 8 2 を加工して、第 2 の予測残留圧縮応力  $S_2$  に基づいて事前に決定された第 2 の予測範囲内にある第 2 の残留圧縮応力を第 2 の予測領域に生成する。

【 0 0 4 5 】

工程 7 2 または 7 3 は、予測領域の表面に押し込み深さまでローラを押圧することと、駆動モータによって駆動される動作ユニットによって送り速度で表面上で転動するようにローラを駆動することと、背圧下で超音波周波数でローラを振動させることと、ここでローラの振動は、入力電流によって駆動され、予測残留圧縮応力と駆動モータのリアルタイム出力とに基づいて、押し込み深さ、背圧、入力電流および送り速度のうち少なくとも 1 つを調整することとを含む。

【 0 0 4 6 】

当業者に理解されるように、本開示は、その精神または本質的な特徴に依存することなく、他の特定の形態で具現化され得る。したがって、本明細書の開示および説明は、添付の特許請求の範囲に記載される本開示の範囲を例示することを意図したものであり、限定することを意図したのではない。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 7 】

- 1 0 超音波ローラバニシングシステム
- 2 0 超音波ローラバニシング装置
- 2 2 超音波振動ユニット
- 2 3 背圧装置
- 2 6 ローラ
- 2 8 駆動モータ
- 2 9 シェル
- 3 0 コントローラ
- 3 1 第 1 のコントローラ、第 1 の計算機
- 3 2 第 2 のコントローラ、第 2 の計算機
- 4 0 ワーク
- 5 0 超音波ローラバニシング法
- 6 0 超音波ローラバニシング法
- 7 0 部品の加工方法
- 8 1 第 1 の予測領域
- 8 2 第 2 の予測領域
- 2 1 1 動作部品
- 2 1 2 動作部品
- 2 1 3 動作部品
- 2 2 1 超音波発生器
- 2 2 2 超音波トランスデューサ
- 2 2 3 超音波ホーン
- B P 背圧
- B P<sub>e</sub> 予測背圧

10

20

30

40

50

- D 押し込み深さ
- $D_e$  予測押し込み深さ
- f 送り速度
- $f_e$  予測送り速度
- I 入力電流
- $I_e$  予測入力電流
- $P_e$  予測出力
- $P_r$  リアルタイム出力
- $S_1$  第1の予測残留圧縮応力
- $S_2$  第2の予測残留圧縮応力
- $S_e$  予測残留圧縮応力

【図1】

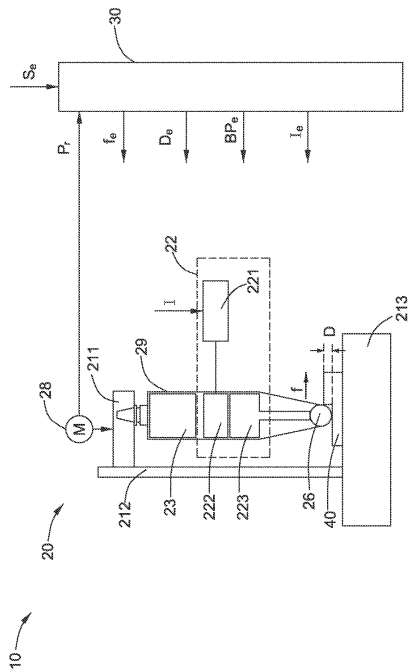


FIG. 1

【図2】

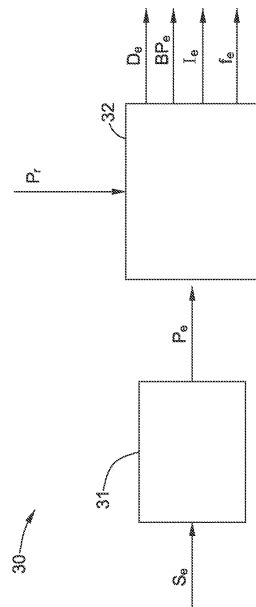


FIG. 2

【 図 3 】

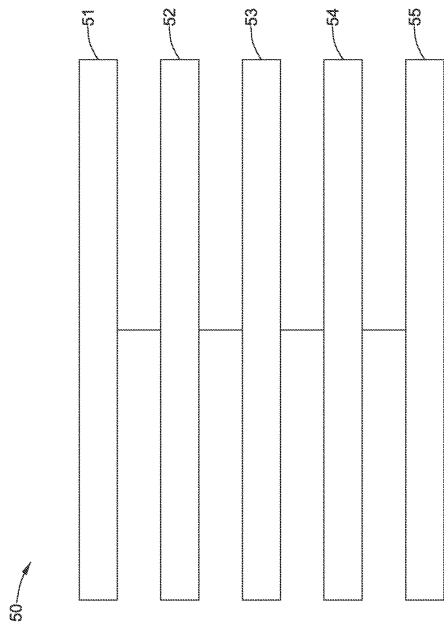


FIG. 3

【 図 4 】

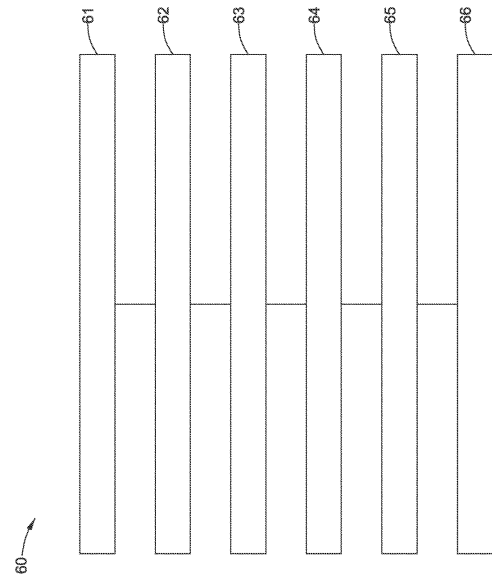


FIG. 4

【 図 5 】

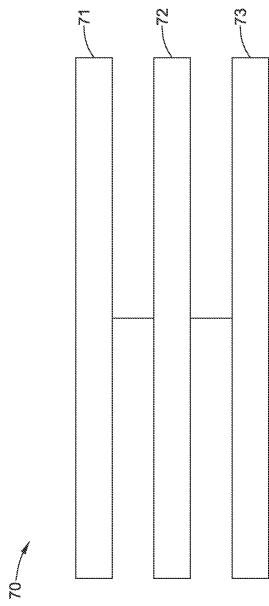


FIG. 5

【 図 6 】

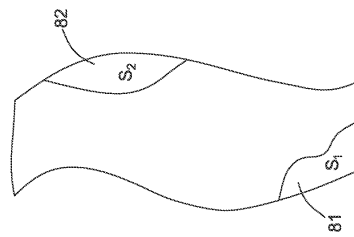


FIG. 6

---

フロントページの続き

- (72)発明者 ウィッカート、トーマス エドワード  
アメリカ合衆国 サウスカロライナ州 29615 グリーンビル, チャールストン オーク  
レン 119
- (72)発明者 パオ、インビン  
アメリカ合衆国 サウスカロライナ州 シンプソンビル, ガニブリル コート 29

審査官 須中 栄治

- (56)参考文献 韓国公開特許第10-2015-0062814(KR, A)  
米国特許出願公開第2002/0174528(US, A1)  
米国特許出願公開第2011/0223443(US, A1)  
実開昭56-171145(JP, U)  
特開平01-199758(JP, A)  
米国特許出願公開第2013/0026147(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24B35/00; 39/00-39/06  
B24B1/04  
B24B49/16  
B23P9/02-9/04