

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-129482

(P2017-129482A)

(43) 公開日 平成29年7月27日(2017.7.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G01B 13/10 (2006.01)	G01B 13/10	2F066
C23C 24/04 (2006.01)	C23C 24/04	4D073
B05B 15/00 (2006.01)	B05B 15/00	4K044

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2016-9662 (P2016-9662)
 (22) 出願日 平成28年1月21日 (2016.1.21)

特許法第30条第2項適用申請有り 発行者名：一般社団法人 日本溶射学会、刊行物名：一般社団法人 日本溶射学会第102回(2015年度秋季)全国講演大会講演論文集、発行年月日：平成27年11月12日 主催者名：一般社団法人 日本溶射学会、集会名：一般社団法人 日本溶射学会第102回(2015年度秋季)全国講演大会、開催日：平成27年11月12日

(71) 出願人 504258527
 国立大学法人 鹿児島大学
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (74) 代理人 100162259
 弁理士 末富 孝典
 (74) 代理人 100133592
 弁理士 山口 浩一
 (74) 代理人 100168114
 弁理士 山中 生太
 (72) 発明者 片野田 洋
 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号
 国立大学法人 鹿児島大学内

最終頁に続く

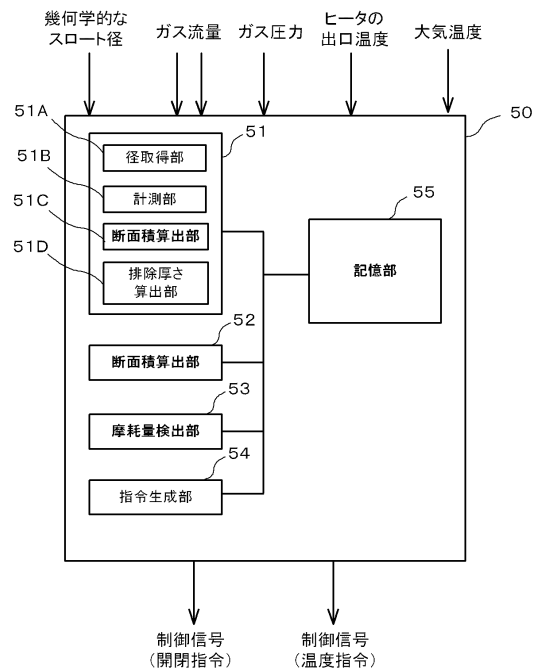
(54) 【発明の名称】 ノズル摩耗量検出方法、制御方法、ノズル摩耗量検出装置及び制御装置

(57) 【要約】

【課題】 ノズルのスロート部分の摩耗量を正確に検出するノズル摩耗量検出方法、制御方法、ノズル摩耗量検出装置及び制御装置を提供する。

【解決手段】 排除厚さ検出部51は、ノズルとスロート及びスロート周辺の形状がほぼ同一で、かつ、スロート径を計測可能な検定ノズルのスロート径、大気温度でのノズル内における作動ガスの圧力及び流量を含む検定ノズルに関する計測結果に基づいて、検定ノズルのスロートを流れる作動ガスの排除厚さを算出する。断面積算出部52は、大気温度で検定ノズルから作動ガスを噴射したときのノズル内における作動ガスの圧力及び流量の計測結果に基づいて、排除厚さ面積を除くノズルのスロート断面積を算出する。摩耗量検出部53は、排除厚さ検出部51で算出された排除厚さと、断面積算出部52で算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、ノズルのスロートの摩耗量を検出する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

固体微粒子を作動ガスとともに噴射するノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出方法であって、

前記ノズルとスロート及びスロート周辺の形状がほぼ同一で、かつ、スロート径を計測可能な検定ノズルのスロート径と、大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の作動ガスの圧力及び流量とを含む前記検定ノズルに関する計測結果に基づいて、前記検定ノズルのスロートを流れる前記作動ガスの境界層の排除厚さを検出する排除厚さ検出ステップと、

大気温度で前記ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記ノズル内の作動ガスの圧力及び流量の計測結果に基づいて、前記排除厚さが形成する円環状の面積である排除厚さ面積を除く前記ノズルのスロート断面積を算出する断面積算出ステップと、

前記排除厚さ検出ステップで検出された前記排除厚さと、前記断面積算出ステップで算出された前記排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記ノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出ステップと、

を含むノズル摩耗量検出方法。

【請求項 2】

前記排除厚さ検出ステップでは、

前記検定ノズルのスロート径を、接触式または非接触式の計測装置から取得する第 1 のステップと、

大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の前記作動ガスの圧力及び流量を計測する第 2 のステップと、

前記第 2 のステップで計測された作動ガスの圧力及び流量に基づいて、前記検定ノズルにおける前記排除厚さ面積を除くスロート断面積を算出する第 3 のステップと、

前記第 1 のステップで算出されたスロート径から得られる前記排除厚さ面積を含むスロート断面積と、前記第 3 のステップで算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記排除厚さを算出する第 4 のステップと、

を含む、

請求項 1 に記載のノズル摩耗量検出方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のノズル摩耗量検出方法を用いて検出された前記ノズルのスロートの摩耗量に応じて、前記ノズルの出口での前記固体微粒子の粒子速度が一定に保たれるように、前記作動ガスの圧力及びノ又は温度を制御する制御ステップを含む、
制御方法。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載のノズル摩耗量検出方法を用いて検出された前記ノズルのスロートの摩耗量が閾値を超えた場合に、前記ノズルの交換情報を外部出力する出力ステップを含む、

請求項 3 に記載の制御方法。

【請求項 5】

固体微粒子を作動ガスとともに噴射するノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出装置であって、

前記ノズルとスロート及びスロート周辺の形状がほぼ同一で、かつ、スロート径を計測可能な検定ノズルのスロート径と、大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内における前記作動ガスの圧力及び流量とを含む前記検定ノズルに関する計測結果に基づいて、前記検定ノズルのスロートを流れる前記作動ガスの排除厚さを検出する排除厚さ検出部と、

大気温度で前記ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記ノズル内における作動ガスの圧力及び流量の計測結果に基づいて、前記排除厚さ面積を除く前記ノズルのスロート断面積を算出する断面積算出部と、

10

20

30

40

50

前記排除厚さ検出部で検出された前記排除厚さと、前記断面積算出部で算出された前記排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記ノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出部と、

を備えるノズル摩耗量検出装置。

【請求項 6】

前記排除厚さ検出部は、

前記検定ノズルのスロート径を計測装置から取得する径取得部と、

大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の前記作動ガスの圧力及び流量を計測する計測部と、

前記計測部で計測された前記作動ガスの圧力及び流量に基づいて、前記検定ノズルにおける前記排除厚さ面積を除くスロート断面積を算出する検定ノズル断面積算出部と、

前記径取得部で取得されたスロート径から得られる前記排除厚さ面積を含むスロート断面積と、前記検定ノズル断面積算出部で算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記排除厚さを検出する排除厚さ検出部と、

を備える、

請求項 5 に記載のノズル摩耗量検出装置。

【請求項 7】

請求項 5 又は 6 に記載のノズル摩耗量検出装置と、

前記ノズル摩耗量検出装置で検出された前記ノズルのスロートの摩耗量に応じて、前記ノズルの出口での前記固体微粒子の粒子速度が目標値としての一定値に保たれるように、前記作動ガスの圧力及びノズル温度を制御する制御部と、

を備える制御装置。

【請求項 8】

前記ノズル摩耗量検出装置で検出された前記ノズルのスロートの摩耗量が閾値を超えた場合に、前記ノズルの交換指示を外部出力する出力部を備える、

請求項 7 に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ノズル摩耗量検出方法、制御方法、ノズル摩耗量検出装置及び制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

コールドスプレーとは、固体微粒子を溶融させること無く不活性ガスと共に超音速流で固相状態のまま基材に衝突・塑性変形させて皮膜を形成する方法である。この方法では、最大 1000 程度まで電気加熱した数十気圧のガスと、常温のガス（固体微粒子を巻き込み搬送する常温ガス）とをノズル内に供給し、ガス流によって、固体微粒子をノズルから 500 m/s 程度以上の高速で噴射する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 5302424 号明細書

【特許文献 2】欧州特許第 0484533 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

コールドスプレー装置では、ノズルの中で最も細い箇所、すなわち直径 2 mm 程度のスロートを通過する固体微粒子が、スロートを少しずつ削っていき、スロートが摩耗する。スロートが摩耗すると、スロート径が大きくなって、ガスの噴射速度が低下する。ガスの噴射速度が低下すると、固体微粒子の噴射速度が低下し、皮膜の密着力や緻密さが低下す

10

20

30

40

50

る。したがって、皮膜を良好に生成するためには、使用の都度スロート径を測定するなどスロート径の管理を行う必要がある。

【0005】

しかしながら、ノズルは非常に細長く、スロートはノズルの軸方向の中ほどにあるため、スロート径を直接計測するのは困難である。ピンゲージを用いて計測することはできるが、ピンゲージによってスロートやノズルの内面を傷つけてしまうおそれもある。

【0006】

スロート径を、作動ガスの質量流量（以下、単に流量と記す）、ノズル内の圧力及び温度から流体力学の算出式を用いて算出することは可能である。しかしながら、一般にコールドスプレー装置では、ヒータ出口からノズルまでの熱損失が不明であるため、ノズル内の実際のガスの温度は未知であるので、流体力学の算出式を用いてスロート径を求めるのは困難である。

10

【0007】

本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、スロートの摩耗量を正確に検出することができるノズル摩耗量検出方法、制御方法、ノズル摩耗量検出装置及び制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の第1の観点に係るノズル摩耗量検出方法は、固体微粒子を作動ガスとともに噴射するノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出方法であって、

20

前記ノズルとスロート及びスロート周辺の形状がほぼ同一で、かつ、スロート径を計測可能な検定ノズルのスロート径と、大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の作動ガスの圧力及び流量とを含む前記検定ノズルに関する計測結果に基づいて、前記検定ノズルのスロートを流れる前記作動ガスの境界層の排除厚さを検出する排除厚さ検出ステップと、

大気温度で前記ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記ノズル内の作動ガスの圧力及び流量の計測結果に基づいて、前記排除厚さが形成する円環状の面積である排除厚さ面積を除く前記ノズルのスロート断面積を算出する断面積算出ステップと、

前記排除厚さ検出ステップで検出された前記排除厚さと、前記断面積算出ステップで算出された前記排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記ノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出ステップと、

30

を含む。

【0009】

ここで、「形状がほぼ同一」とは、スロートで検出される排除厚さが同じになる程度に形状が同一であることをいう。

【0010】

この場合、前記排除厚さ検出ステップでは、

前記検定ノズルのスロート径を、接触式または非接触式の計測装置から取得する第1のステップと、

40

大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の前記作動ガスの圧力及び流量を計測する第2のステップと、

前記第2のステップで計測された作動ガスの圧力及び流量に基づいて、前記検定ノズルにおける前記排除厚さ面積を除くスロート断面積を算出する第3のステップと、

前記第1のステップで算出されたスロート径から得られる前記排除厚さ面積を含むスロート断面積と、前記第3のステップで算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記排除厚さを算出する第4のステップと、

を含む、

こととしてもよい。

【0011】

50

ここで、理論的には、排除厚さとは、後述の図4(B)に示すように、以下の(A)と(B)とが等しくなる厚さ δ_1^* である。

(A)スロートの壁面からスロート断面の中心までの[作動ガスの流速]×[ガス密度]の分布 V の面積積分値(質量流量)

(B)[スロート断面の中心での作動ガスの流速(一定値)]×[スロート断面の中心での作動ガスのガス密度(一定値)]に、スロートの壁面の上方 δ_1^* の位置からスロート断面中心までの面積を掛けた値(質量流量)

つまり、このとき、図4(B)において、面積 B_1 と面積 B_2 は等しくなり、排除厚さは、ガス流の流量の観点から考えたスロート断面の幾何的断面積からの減少分に対応する厚さを表す。排除厚さは、実験的には、検定ノズルに任意の圧力、任意の温度の作動ガスを供給したときに流れる流量と、スロート2-1Aの既知の断面積から、後述の式(4)~(7)を用いて計算することができる。

【0012】

本発明の第2の観点に係る制御方法は、

本発明のノズル摩耗量検出方法を用いて検出された前記ノズルのスロートの摩耗量に応じて、前記ノズルの出口での前記固体微粒子の粒子速度が一定に保たれるように、前記作動ガスの圧力及び/又は温度を制御する制御ステップを含む。

【0013】

この場合、本発明のノズル摩耗量検出方法を用いて検出された前記ノズルのスロートの摩耗量が閾値を超えた場合に、前記ノズルの交換情報を外部出力する出力ステップを含む

、
こととしてもよい。

【0014】

本発明の第3の観点に係るノズル摩耗量検出装置は、

固体微粒子を作動ガスとともに噴射するノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出装置であって、

前記ノズルとスロート及びスロート周辺の形状がほぼ同一で、かつ、スロート径を計測可能な検定ノズルのスロート径と、大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内における前記作動ガスの圧力及び流量とを含む前記検定ノズルに関する計測結果に基づいて、前記検定ノズルのスロートを流れる前記作動ガスの排除厚さを検出する排除厚さ検出部と、

大気温度で前記ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記ノズル内における作動ガスの圧力及び流量の計測結果に基づいて、前記排除厚さ面積を除く前記ノズルのスロート断面積を算出する断面積算出部と、

前記排除厚さ検出部で検出された前記排除厚さと、前記断面積算出部で算出された前記排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記ノズルのスロートの摩耗量を検出する摩耗量検出部と、

を備える。

【0015】

この場合、前記排除厚さ検出部は、

前記検定ノズルのスロート径を計測装置から取得する径取得部と、

大気温度で前記検定ノズルから前記作動ガスを噴射したときの前記検定ノズル内の前記作動ガスの圧力及び流量を計測する計測部と、

前記計測部で計測された前記作動ガスの圧力及び流量に基づいて、前記検定ノズルにおける前記排除厚さ面積を除くスロート断面積を算出する検定ノズル断面積算出部と、

前記径取得部で取得されたスロート径から得られる前記排除厚さ面積を含むスロート断面積と、前記検定ノズル断面積算出部で算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積とに基づいて、前記排除厚さを検出する排除厚さ検出部と、

を備える、

こととしてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

本発明の第 4 の観点に係る制御装置は、
 本発明のノズル摩耗量検出装置と、
 前記ノズル摩耗量検出装置で検出された前記ノズルのスロートの摩耗量に応じて、前記ノズルの出口での前記固体微粒子の粒子速度が目標値としての一定値に保たれるように、前記作動ガスの圧力及びノ又は温度を制御する制御部と、
 を備える。

【 0 0 1 7 】

この場合、前記ノズル摩耗量検出装置で検出された前記ノズルのスロートの摩耗量が閾値を超えた場合に、前記ノズルの交換指示を外部出力する出力部を備える、
 こととしてもよい。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、ノズルのスロートにおける作動ガスの流れを、壁面近傍の排除厚さとそれ以外の領域とに分けて、スロートの大きさ及びスロート周辺の形状がほぼ同一の検定ノズルを用いて排除厚さを正確に求める。そのうえで、大気温度での作動ガスの圧力及び流量に基づいて、排除厚さ面積を除く断面積を求め、排除厚さと、排除厚さ面積を除く断面積とから、排除厚さ面積を含むスロートの断面積（幾何学的なスロート断面積）を求める。このようにすれば、未知数をなくした状態で作動ガスの流量、圧力及び大気温度に基づいて、流体力学の関係式を用いて排除厚さ面積を含むスロート断面積を求めることができる。この結果、ノズルのスロートの摩耗量を正確に検出することができる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】本発明の一実施の形態に係るコールドスプレー装置及び制御装置を含む全体構成を示す模式図である。

【 図 2 】図 1 のコールドスプレー装置を構成するノズルの断面図である。

【 図 3 】図 1 の制御装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【 図 4 】図 4 (A) は、スロート付近の作動ガスの流速分布を示す模式図である。図 4 (B) は、スロート付近の作動ガスの[ガス密度]×[ガス速度]の分布を示す模式図である。

【 図 5 】図 5 (A) は、スロート近傍における境界層及びその他の領域を示す図である。
 図 5 (B) は、スロート断面における排除厚さ δ_1^* を示す図である。

30

【 図 6 】制御装置のソフトウェア構成を示すブロック図である。

【 図 7 】制御装置の動作のフローチャートである。

【 図 8 】排除厚さ検出部の動作のフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、本発明の一実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

(コールドスプレー装置の全体構成)

図 1 に示すように、コールドスプレー装置 1 は、基材 2 に対して、作動ガスとともに固体微粒子を噴射する装置である。コールドスプレー装置 1 は、ガス源 1 0 と、電動バルブ 1 1 と、第 1 のガス供給路 1 2 と、ガス流量計 1 3 と、パウダフィード 1 4 と、第 2 のガス供給路 1 5 と、ガス流量計 1 6 と、ヒータ 1 7 と、ノズル 2 0 と、圧力計 2 2 と、温度計 2 3 と、を備える。

40

【 0 0 2 2 】

(ガス源)

ガス源 1 0 は、作動ガスの供給源である。このような作動ガスとしては、例えば、空気、窒素、ヘリウム、あるいはそれらの混合ガスを用いることができる。また、固体微粒子の酸化防止の観点からすれば、作動ガスとして不活性ガスを用いることが好ましい。不活性ガスとしては、例えば、窒素、ヘリウム又はそれらの混合ガス等が挙げられる。

50

【 0 0 2 3 】

(電動バルブ 1 1)

電動バルブ 1 1 は、ガス源 1 0 と、第 1 のガス供給路 1 2 及び第 2 のガス供給路 1 5 との間に挿入されている。電動バルブ 1 1 は、制御信号 (開閉指令) により開閉が可能である。電動バルブ 1 1 が閉じると、ガス源 1 0 から第 1 のガス供給路 1 2 及び第 2 のガス供給路 1 5 への作動ガスの供給が停止し、電動バルブ 1 1 が開くと、ガス源 1 0 の作動ガスが、第 1 のガス供給路 1 2 及び第 2 のガス供給路 1 5 に供給される。電動バルブ 1 1 は、制御信号 (開閉指令) に従って、開閉状態を制御して、作動ガスの圧力及び流量を制御可能である。

【 0 0 2 4 】

(第 1 のガス供給路)

第 1 のガス供給路 1 2 は、電動バルブ 1 1 からノズル 2 0 まで延びている。第 1 のガス供給路 1 2 は、電動バルブ 1 1 を介してガス源 1 0 から供給される常温の作動ガスをノズル 2 0 へ供給する。ガス流量計 1 3 は、第 1 のガス供給路 1 2 を流れる作動ガスの流量を計測する。第 1 のガス供給路 1 2 には、パウダフィーダ 1 4 が接続されている。パウダフィーダ 1 4 は、固体微粒子を第 1 のガス供給路 1 2 に供給する。固体微粒子は、目的に応じたものとなるが、例えば A l、C u などのコーティング用の金属微粒子である。

【 0 0 2 5 】

(第 2 のガス供給路)

第 2 のガス供給路 1 5 は、電動バルブ 1 1 からノズル 2 0 まで延びている。第 2 のガス供給路 1 5 は、電動バルブ 1 1 を介してガス源 1 0 から供給される作動ガスをノズル 2 0 へ供給する。ガス流量計 1 6 は、第 2 のガス供給路 1 5 を流れる作動ガスの流量を計測する。第 2 のガス供給路 1 5 には、ヒータ 1 7 が挿入されている。ヒータ 1 7 は、数十気圧の作動ガスを最大 1 0 0 0 程度まで電気加熱する。第 2 のガス供給路 1 5 内の高温高压の作動ガスは、ノズル 2 0 内に供給される。

【 0 0 2 6 】

(ノズル)

ノズル 2 0 は、図 2 に示すように、先細部 2 0 E、スロート 2 0 A、末広部 2 0 D を備えており、粒子噴射管 2 0 C を有する貯気室 2 0 B にねじ等で固定されている。第 1 のガス供給路 1 2 から供給された固体微粒子は、固体微粒子を搬送する常温のガスとともに粒子噴射管 2 0 C を介して貯気室 2 0 B 内に注入される。第 2 のガス供給路 1 5 から供給される高温高压の作動ガスは、貯気室 2 0 B に注入される。貯気室 2 0 B 内の固体微粒子は、高温高压の作動ガスのガス流によって、先細部 2 0 E、スロート 2 0 A、末広部 2 0 D を通って、例えば 5 0 0 m / s 以上の高速で噴射される。ノズル 2 0 から噴射された固体微粒子は基材 2 に衝突し、塑性変形する。これにより、基材 2 上に固体微粒子の皮膜が形成され、基材 2 に対してコーティングが行われる。なお、スロート 2 0 A から先細部 2 0 E の上流端までの長さは例えば 5 0 mm であり、末広部 2 0 D の長さ L は、例えば 1 0 0 mm である。

【 0 0 2 7 】

(固体微粒子の速度)

コーティングの目的は、銅微粒子による高い電気伝導性または高い放熱性の付与や、合金微粒子によるスパッタリングターゲットの肉盛り再生 (コーティングというより成形) などである。固体微粒子を固体表面に衝突させたときに固体微粒子と固体表面とに塑性変形を生じさせるために、ノズル 2 0 では、固体微粒子をある速度以上で固体表面に吹き付ける必要がある。固体微粒子の速度は、ノズル 2 0 の内面形状、ガス温度 T_0 、ガス圧力 P_0 に依存する。ガス温度 T_0 を上げるほど又はガス圧力 P_0 を上げるほど、固体微粒子の粒子速度は大きくなる。

【 0 0 2 8 】

(スロート)

ノズル 2 0 の内面形状のうち最も重要な部分が、ノズル 2 0 内で最も細い場所であるス

10

20

30

40

50

ロート 20 A (図 2 参照) である。スロート 20 A の断面は、一般的に円形状であり、スロート 20 A の設計上の直径 d^* は約 2 mm (例えば 1.5 mm) 程度である。スロート 20 A の直径は、固体微粒子の粒子速度を規定する重要な寸法であり、摩耗などによりスロート 20 A の直径が大きくなると、固体微粒子の粒子速度は低下する。

【0029】

(スロートの摩耗)

固体微粒子は、スロート 20 A を通過するとき、スロート 20 A の壁面を少しずつ削っていくため、スロート 20 A は次第に摩耗する。本実施の形態に係るノズル摩耗量検出方法では、このスロート 20 A の摩耗量を検出する。

【0030】

(圧力計、温度計)

圧力計 22 は、貯気室 20 B における作動ガスの圧力 P_0 を計測する。圧力計 22 は、例えば半導体圧力センサである。作動ガスの圧力 P_0 は、例えば、1 MPa である。温度計 23 は、熱電対であり、ヒータ 17 の出口温度を計測する。

【0031】

(その他の設備)

コールドスプレー装置 1 のスロート 20 A の摩耗量を検出するために、図 1 に示すように、温度計 (熱電対) 3、接触式または非接触式の計測装置 4、検定ノズル 21 及び制御装置 50 が設けられている。温度計 3 は、大気温度を計測する。接触式または非接触式の計測装置 4 は、検定ノズル 21 のノズル形状、特にスロート 21 A の直径 d^* を計測する。

【0032】

(検定ノズル)

検定ノズル 21 は、スロート径及びスロート 21 A 周辺の形状が、ノズル 20 とほぼ同じである。ここで、スロート 21 A の周辺とは、スロートでの作動ガスの流速に影響を与える部分である。すなわち、「形状がほぼ同じ」とは、ノズルの先細部の入口からスロートを経て、スロート直径と同程度まで下流までの区間の形状が同じであることをいう。これにより、スロートで検出される排除厚さが同じになる。検定ノズル 21 は、ノズル 20 と交換可能となっている。また、検定ノズル 21 は、接触式または非接触式の計測装置 4 により、スロート径を直接計測可能となっている。検定ノズル 21 として、ノズル 20 と同じ工程で製造され、スロート径を計測可能にするために末広部を短く加工したものをを用いることができる。

【0033】

(制御装置)

制御装置 50 は、ガス流量計 13、16 から送られるそれぞれのガス流量 (これらのガス流量の和を m とする)、圧力計 22 から送られるガス圧力 P_0 、温度計 3 から送られる大気温度 T_a 、接触式または非接触式の計測装置 4 で計測される検定ノズル 21 のノズル形状 (特にスロート 21 A の直径 d^*) 等の情報等を収集し、それらの情報に基づいて、ノズル 20 のスロート 20 A の摩耗量を検出する。

【0034】

(制御装置のハードウェア)

制御装置 50 のハードウェア構成である図 3 に示すように、制御装置 50 は、制御部 31、主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36 を備える。主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36 はいずれも内部バス 30 を介して制御部 31 に接続されている。

【0035】

(制御部)

制御部 31 は、CPU (Central Processing Unit) 等から構成されている。この CPU が、外部記憶部 33 に記憶されているプログラム 39 を実行することにより、図 6 に示す制御装置 50 の各構成要素が実現される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

(主記憶部)

主記憶部 3 2 は、R A M (Random-Access Memory) 等から構成されている。主記憶部 3 2 には、外部記憶部 3 3 に記憶されているプログラム 3 9 がロードされる。この他、主記憶部 3 2 は、制御部 3 1 の作業領域 (データの一時記憶領域) として用いられる。

【 0 0 3 7 】

(外部記憶部)

外部記憶部 3 3 は、フラッシュメモリ、ハードディスク、D V D - R A M (Digital Versatile Disc Random-Access Memory)、D V D - R W (Digital Versatile Disc Rewritable) 等の不揮発性メモリから構成される。外部記憶部 3 3 には、制御部 3 1 に実行させるためのプログラム 3 9 があらかじめ記憶されている。また、外部記憶部 3 3 は、制御部 3 1 の指示に従って、このプログラム 3 9 の実行の際に用いられるデータを制御部 3 1 に供給し、制御部 3 1 から供給されたデータを記憶する。

10

【 0 0 3 8 】

(操作部)

操作部 3 4 は、キーボード及びマウスなどのポインティングデバイス等と、キーボード及びポインティングデバイス等を内部バス 3 0 に接続するインターフェイス装置から構成されている。操作部 3 4 を介して、操作者が操作した内容に関する情報が制御部 3 1 に入力される。

【 0 0 3 9 】

(表示部)

表示部 3 5 は、C R T (Cathode Ray Tube) 又は L C D (Liquid Crystal Display) などから構成される。表示部 3 5 には、例えばノズル 2 0 の交換指示などが表示される。

20

【 0 0 4 0 】

(通信部)

通信部 3 6 は、通信線のシリアルインターフェイス又はパラレルインターフェイスから構成されている。この通信部 3 6 を介して、温度計 3、接触式または非接触式の計測装置 4、ガス流量計 1 3、1 6、圧力計 2 2、温度計 2 3 からの情報や、電動バルブ 1 1、ヒータ 1 7 への制御信号が出力される。

【 0 0 4 1 】

(プログラム)

図 1 に示す制御装置 5 0 の各種構成要素は、図 3 に示すプログラム 3 9 が、制御部 3 1、主記憶部 3 2、外部記憶部 3 3、操作部 3 4、表示部 3 5 及び通信部 3 6 などをハードウェア資源として用いて実行されることによってその機能を発揮する。

30

【 0 0 4 2 】

(境界層)

制御装置 5 0 において摩耗量を検出するための基本事項である、スロート 2 0 A での作動ガスの流れについて説明する。図 4 (A) の流速分布 V に示すように、作動ガスがノズル 2 0 を流れると、ノズル 2 0 の内壁に沿って速度の遅い領域が発生する。これを境界層という。スロート 2 0 A では、境界層の厚さ δ は、例えば $10 \mu\text{m}$ 以下である。

40

【 0 0 4 3 】

(排除厚さ)

境界層厚さ δ は、図 4 (A) に示すようにスロート 2 0 A の壁面 (壁面上で作動ガスの速度ゼロ) からスロート 2 0 A の断面中心へ向かったときの作動ガスの流速分布 V が、断面中心の流速 V_{max} の 99% に達した位置から壁面までの距離である。また、図 4 (B) に示すように、スロート 2 0 A の壁面からスロート 2 0 A の断面中心へ向かったときの作動ガスの流速 V と作動ガスの密度 ρ との積 (ρV) の分布を考え、積分値 B_1 と、(ρV) の最大値 (ρV)_{max} と (ρV) との差分の積分値 B_2 とが、等しくなるときの厚さ δ_1 を、境界層排除厚さ、または排除厚さともいう。すなわち、排除厚さとは、境界層も含めて (ρV) の分布が断面方向に沿って (ρV)_{max} で一定であるとしたとき

50

の、壁面に隣接するガスが流れない部分の厚さのことである。なお、流れのマッハ数（速度÷音速）が0.3以下であるような低速の流れであれば、ガス密度は一定とみなしてよいため、排除厚さの計算にガス密度を考慮する必要はない。しかし、スロート20A及び21Aでは、流れのマッハ数が1であり、スロート20A及び21Aの境界層内の断面方向に沿ってガス密度が変化する。そのため、排除厚さ σ^* はガス速度とガス密度の積に基づいて考える必要がある。

【0044】

（スロート断面）

図5（A）及び図5（B）に示すように、スロート20Aの断面が円形状である場合、排除厚さは、スロート20Aの内壁に沿って環状であり、下流方向へ厚くなる。その排除厚さの内側に作動ガスが高速で流れる領域が存在する。この領域を流れる作動ガスが、固体微粒子のコーティングに寄与する。スロート20Aにおいて、この部分の断面積を流体力学的なスロート断面積 A_g^* という。

10

【0045】

実際のスロート20Aの断面積を、幾何学的なスロート断面積 A^* とすると、以下の関係が成り立つ。

[幾何学的なスロート断面積] = [排除厚さ面積] + [流体力学的なスロート断面積]

…(1)

この式は、排除厚さの存在により、コーティングに寄与する作動ガスの断面積が減少したことを示している。なお、言い換えると、幾何学的なスロート断面積 A^* は、排除厚さ面積を含むスロート断面積であり、流体力学的なスロート断面積 A_g^* は、排除厚さ面積を除くスロート断面積である。

20

【0046】

（断面積の変化）

スロート20Aの摩耗を求めるには、その直径を計測すればよいが、ノズル20は細長いため、スロート20Aの直径を正確に計測するのは困難である。よって、制御装置50では、式(1)を用いて幾何学的なスロート20Aの断面積 A^* を間接的に求め、その断面積の変化でノズル20のスロート20Aの摩耗量 A^* を検出する。

【0047】

（流体力学的な断面積について）

まず、流体力学的な断面積 A_g^* について説明する。図5（B）の排除厚さ面積以外の部分のノズル20のスロート20A内の作動ガスの流れには、一般に以下の関係が成り立つ。

30

【数1】

$$m = \frac{P_0 A_g^*}{\sqrt{RT_0}} \sigma^* \quad \dots(2)$$

ここで、 m はスロート20Aを通る作動ガスの流量であり、 P_0 は、前述のようにノズル20の貯気室20B内の作動ガスの圧力（図2参照）である。また、 T_0 は、ノズル20の貯気室20B内の作動ガスの混合温度（図2参照）である。また、 R は作動ガスの気体定数である。 σ^* は、臨界流れ係数であり、以下の式で表される。

40

【数2】

$$\sigma^* = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad \dots(3)$$

ここで、 γ は作動ガスの比熱比である。

【0048】

（流量、圧力、温度）

上記式(2)から、流体力学的なスロート断面積 A_g^* は、以下のように表される。

50

【数 3】

$$A_g^* = \frac{m\sqrt{RT_0}}{P_0\sigma^*} \dots(4)$$

上記式(4)によれば、流体力学的なスロート断面積 A_g^* は、作動ガスの流量 m 、作動ガスの圧力 P_0 、作動ガスの温度 T_0 によって定まる。

【0049】

(幾何学的なスロート断面積)

続いて、排除厚さ δ_1^* はスロート 20A の直径の $1/100$ 程度以下であるため、スロート 20A での排除厚さ面積は、近似的に次式で表される。 10

【数 4】

$$\pi d_g^* \delta_1^* \dots(5)$$

ここで、 d_g^* は、排除厚さを除くスロート 20A の流体力学的な断面の直径である(図 5(B) 参照)。したがって、幾何学的なスロート断面積 A^* は、上述の式(1)、式(5)に基づいて、近似的に以下の式で表される。

【数 5】

$$A^* \approx \pi d_g^* \delta_1^* + A_g^* \dots(6)$$

20

【0050】

(スロートの直径)

流体力学的なスロート径 d_g^* (図 5(B)) は、以下の式のように、流体力学的なスロート断面積 A_g^* から求めることができる。

【数 6】

$$\frac{\pi}{4} d_g^{*2} = A_g^* \dots(7)$$

【0051】

(流体力学的な断面積の変数)

上述の式(4)に示すように、流体力学的なスロート断面積 A_g^* は、ノズル 20 のスロート 20A を通るガス流量 m 、ガス圧力 P_0 、ガス温度 T_0 で定まる。

また、上記式(6)及び式(7)に示すように、排除厚さ面積は、排除厚さ δ_1^* と、流体力学的なスロート断面積 A_g^* で定まる。したがって、幾何学的なスロート断面積 A^* を求めるには、ガス流量 m 、ガス圧力 P_0 、ガス温度 T_0 、排除厚さ δ_1^* が必要になる。

30

【0052】

(ガス温度)

ここで、ガス流量 m 、ガス圧力 P_0 は、ガス流量計 13、16 及び圧力計 22 を用いて正確に測定することができる。しかしながら、ガス温度 T_0 は、図 1 に示すヒータ 17 を経由して貯気室 20B に供給される高温ガスと、第 1 のガス供給路 12 を通って粒子噴射管 20C から貯気室 20B に供給される常温のガスとの混合温度である。この混合温度は、図 1 に示すヒータ 17 の出口の温度計(熱電対) 23 で測定した温度と、第 1 のガス供給路 12、第 2 のガス供給路 15 のそれぞれのガス流量からある程度の予測はできるものの、ノズル 20 のスロート 20A に到るまでの熱損失が不明であるため、正確な温度を把握するのは困難である。

40

【0053】

(ノズル摩耗量検出方法の特徴)

そこで、本実施の形態に係るノズル摩耗量検出方法では、ガス温度 T_0 を直接求めず、まず検定ノズル 21 を貯気室 20B に取り付け、大気温度 T_a での作動ガスの噴射を行っ

50

て排除厚さ δ_1^* を求め、次に検定ノズル 21 をノズル 20 に代えて貯気室 20B に取り付け、コーティングに先立って大気温度 T_a での作動ガスの噴射を行って、流体力学的なスロート断面積 A_g^* を求めたうえで、ノズル 20 の幾何学的なスロート断面積 A^* を正確に求め、スロート断面積 A^* の新品時からの変化でスロート 20A の摩耗量を検出する。

【0054】

(制御装置の SW)

制御装置 50 は、ある日のノズル 20 の幾何学的なスロート断面積 A^* を求めるために、以下の構成要素を有する。図 6 に示すように、制御装置 50 は、排除厚さ検出部 51 と、断面積算出部 52 と、摩耗量検出部 53 と、指令生成部 54 と、記憶部 55 と、を備える。

10

【0055】

(排除厚さ検出部)

排除厚さ検出部 51 は、スロート 21A 及びスロート 21A 周辺の形状がノズル 20 とほぼ同一の検定ノズル 21 のスロート径 d^* 、大気温度 T_a での検定ノズル 21 のスロート 21A の上流におけるガス圧力 P_0' 及びガス流量 m' を含む検定ノズル 21 に関する計測結果に基づいて、検定ノズル 21 のスロート 21A を流れる作動ガスの排除厚さ δ_1^* を算出する。排除厚さ検出部 51 は、径取得部 51A、計測部 51B、断面積算出部 51C 及び排除厚さ算出部 51D を備える。

【0056】

(スロート径計測)

径取得部 51A は、接触式または非接触式の計測装置 4 で計測される検定ノズル 21 のスロート 21A の直径 d^* を、接触式または非接触式の計測装置 4 から取得する。取得されたスロート 21A の直径 d^* は、記憶部 55 に記憶される。

20

【0057】

(大気温度での検定ノズルの計測)

続いて、検定ノズル 21 をノズル 20 に代えてコールドスプレー装置 1 の貯気室 20B に取り付け、ガス圧力 P_0' 、大気温度 T_a で作動ガスを流し、検定ノズル 21 から噴射する。計測部 51B は、このときの作動ガスの圧力 P_0' 、流量 m' を計測する。このとき、パウダフィード 14 による固体微粒子の供給及びヒータ 17 の加熱は停止している。

30

【0058】

(断面積の算出)

断面積算出部 51C は、この計測結果に基づいて、検定ノズル 21 についての流体力学的なスロート断面積 A_g^* を、式 (4) と同様に次式を用いて算出する。すなわち、ガス温度を T_a として、式 (9) で A_g^* を算出する。

【数 7】

$$A_g^* = \frac{m' \sqrt{RT_a}}{P_0' \sigma^*} \quad \dots (9)$$

40

【0059】

(排除厚さ δ_1^* の算出)

排除厚さ算出部 51D は、式 (6) と同様に、検定ノズル 21 のスロート径 d^* から得られる幾何学的なスロート断面積 A^* と、式 (9) から得られる流体力学的なスロート断面積 A_g^* と、 A_g^* から求められる流体力学的なスロート径 d_g^* を、式 (10) に代入して、検定ノズルの排除厚さ δ_1^* を算出する。

【数 8】

$$A^* = \pi d_g^* \delta_1^* + A_g^* \quad \dots (10)$$

算出された排除厚さ δ_1^* は、記憶部 55 に記憶される。排除厚さ δ_1^* は、スロ

50

ート径が多少変わっても変化しないので、ノズル 20 の摩耗量を検出する際に用いることができる。

【0060】

(断面積算出部)

断面積算出部 52 は、大気温度 T_a でノズル 20 から作動ガスを噴射させたときのノズル 20 内の作動ガスの圧力 P_0 " 及び流量 m " の計測結果に基づいて、排除厚さ面積を除くノズル 20 のスロート断面積 A_{g^*} " を算出する。具体的には、検定ノズル 21 をノズル 20 に戻し、コーティング作業に先だって、大気温度 T_a の状態で、ガス圧力 P_0 " で、コールドスプレー装置 1 のノズル 20 に作動ガスを流す。流れたガス流量を m " とする。このとき、ガス温度を T_a として、上記式 (4) から

10

【数 9】

$$A_{g^*} = \frac{m \sqrt{RT_a}}{P_0 \sigma} \quad \dots (11)$$

が得られ、ノズル 20 の流体力学的なスロート断面積 A_{g^*} " (流体力学的なスロート径 d_{g^*} ") が求められる。

【0061】

(摩耗量検出部)

摩耗量検出部 53 は、排除厚さ検出部 51 で算出された排除厚さ δ_1^* ' と、断面積算出部 52 で算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積 A_{g^*} " とに基づいて、ノズル 20 のスロート 20 A の摩耗量 A^* を検出する。排除厚さ δ_1^* ' は、スロート 20 A の直径が多少変わっても変わらない。よって、ある日のスロート 20 A の幾何学的なスロート断面積 A^* " は、式 (10) と同様に

20

【数 10】

$$A^* = \pi d_{g^*} \delta_1^* + A_{g^*} \quad \dots (12)$$

と求められる。摩耗量検出部 53 は、コーティング作業に入る前に、ノズル 20 の新品状態からのスロート断面積の拡大量 $A^* = A_{g^*} - A_{new}$ を検出する。ただし、 A_{new} は新品状態でのノズル 20 のスロート断面積である。

30

【0062】

(指令生成)

指令生成部 54 は、検出されたノズル 20 のスロート 20 A の摩耗量 A^* に応じて、ノズル 20 の出口での固体微粒子の粒子速度が一定に保たれるように、作動ガスの圧力 P_0 、温度 T_0 を制御する電動バルブ 11 の制御信号 (開閉指令) 及びヒータ 17 の制御信号 (温度指令) を生成する。

【0063】

(計測手順)

ノズル 20 の出口での固体微粒子の粒子速度の計算手順を以下に示す。なお、ノズル 20 の出口の断面積 A_0 は計測により既知である。さらに、コールドスプレー装置 1 では、ノズル 20 の出口から基材 2 の被コーティング面までの距離が 10 mm 程度と短いため、基材 2 の被コーティング面に衝突する固体微粒子の粒子速度は、ノズル 20 の出口の粒子速度に等しいと近似する。

40

【0064】

(マッハ数)

まず、指令生成部 54 は、スロート 20 A とノズル 20 の出口での断面積の比から、以下の公知の理論式によりノズル出口でのガスのマッハ数 M_{g_0} (= ノズル出口でのガス速度 ÷ 音速) を求める。

【数 1 1】

$$\frac{A_e}{A^{*n}} = \left[\frac{(\gamma-1)M_{g,e}^2 + 2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad \dots(13)$$

【0065】

(ノズル出口のガス温度)

続いて、指令生成部 54 は、以下の公知の理論式から、ノズル 20 の出口でのガス温度 T_e を算出する。

【数 1 2】

$$T_e = \frac{T_0}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{g,e}^2} \quad \dots(14)$$

【0066】

(ノズル出口のガス速度)

さらに、指令生成部 54 は、以下の公知の理論式を用いて、 $M_{g,e}$ と T_e を用いてノズル 20 の出口でのガス速度 $u_{g,e}$ [m / s] を求める。

【数 1 3】

$$u_{g,e} = M_{g,e} \sqrt{\gamma R T_e} \quad \dots(15)$$

【0067】

さらに、指令生成部 54 は、例えば以下の公知の実験式を用いて、ノズル 20 の出口の固体微粒子の粒子速度 $u_{p,e}$ を算出する。ただし、 L は、末広部 20D の軸方向長さであり、 d_p は固体微粒子の直径、 ρ_p は固体微粒子の密度、 P_0 は、作動ガスの貯気室 20B の圧力、 $u_{g,e}$ は、ノズル 20 の出口のガス速度である。

【数 1 4】

$$u_{p,e} = \frac{u_{g,e}}{1 + 0.85 \sqrt{\frac{d_p}{L}} \times \frac{\rho_p u_{g,e}^2}{P_0}} \quad \dots(16)$$

【0068】

指令生成部 54 は、ノズル 20 の出口の固体微粒子の粒子速度 $u_{p,e}$ が目標値を維持するように、電動バルブ 11 への制御信号（開閉指令）及びノ又はヒータ 17 への制御信号（温度指令）を出力する。

【0069】

(動作)

次に、制御装置 50 の動作について説明する。

【0070】

図 7 に示すように、まず、排除厚さ検出部 51 は、上述のようにして、スロート 20A の排除厚さ d_1^* を検出する（ステップ S1）。

【0071】

(スロート径計測)

ステップ S1 において、図 8 に示すように、排除厚さ検出部 51（径取得部 51A）は、検定ノズル 21 のスロート径 d^* を、接触式または非接触式の計測装置 4 から取得する（ステップ S11）。検定ノズル 21 のスロート径 d^* は、記憶部 55 に記憶される。

【0072】

(排除厚さ算出)

10

20

30

40

50

続いて、排除厚さ検出部 5 1 (計測部 5 1 B) は、大気温度 T_a で検定ノズル 2 1 から作動ガスを噴射させたときの検定ノズル 2 1 内の作動ガスの圧力 P_0' 、流量 m' を計測する (ステップ S 1 2)。さらに、排除厚さ検出部 5 1 (断面積算出部 5 1 C) は、計測された作動ガスの圧力 P_0' 及び流量 m' に基づいて、式 (9) を用いて、検定ノズル 2 1 のスロート 2 1 A における排除厚さ面積を含まない断面積 A_g^* を算出する (ステップ S 1 3)。排除厚さ検出部 5 1 (排除厚さ算出部 5 1 D) は、算出されたスロート径 d^* から得られる排除厚さ面積を含む断面積 A^* と、算出された排除厚さ面積を含まない断面積 A_g^* とに基づいて、式 (10) を用いて、排除厚さ t_1^* を算出する (ステップ S 1 4)。

【0073】

(断面積算出)

図 7 に戻り、コーティングに先立って、断面積算出部 5 2 は、大気温度 T_a でノズル 2 0 から作動ガスを噴射させたときのノズル 2 0 内の作動ガスの圧力 P_0'' 及び流量 m'' の計測結果に基づいて、式 (11) を用いて、排除厚さ面積を除くノズル 2 0 のスロート断面積 A_g^* を算出する (ステップ S 2)。

【0074】

(摩耗量検出)

続いて、摩耗量検出部 5 3 は、排除厚さ t_1^* と、算出された排除厚さ面積を除くスロート断面積 A_g^* とに基づいて、ノズル 2 0 のスロート 2 0 A の摩耗量 A^* を検出する (ステップ S 3)。

【0075】

(交換判定)

続いて、摩耗量検出部 5 3 は、摩耗量 A^* が閾値以上であるか否かを判定する (ステップ S 4)。摩耗量 A^* が閾値以上である場合 (ステップ S 4; Yes)、指令生成部 5 4 は、ノズル交換指示を、外部出力する (ステップ S 6)。外部出力としては、例えば、表示部 3 5 に表示させたり、音声出力したりする方法がある。この後、ノズル 2 0 は、摩耗していない新しいものに交換され、コールドスプレー装置 1 を用いて、コーティングが開始される。

【0076】

(指令生成)

スロート 2 0 A の摩耗量 A^* が閾値未満である場合 (ステップ S 4; No)、指令生成部 5 4 は、ノズル 2 0 のスロート 2 0 A の摩耗量 A^* に基づいて、ノズル 2 0 の出口の固体微粒子の粒子速度 $u_{p,e}$ (式 (16)) が目標値の一定値に保たれるように、作動ガスの圧力 P_0 、温度 T_0 を制御する電動バルブ 1 1 への制御信号 (開閉指令) 又はヒータ 1 7 への制御信号 (温度指令) を出力する (ステップ S 5)。その後、電動バルブ 1 1 及びヒータ 1 7 が指令通りに設定され、目標値に維持された噴射速度で固体微粒子が噴射され、コーティングが行われる。

【0077】

(まとめ)

以上詳細に説明したように、本実施の形態によれば、ノズル 2 0 のスロート 2 0 A における作動ガスの流れを、壁面近傍の排除厚さとそれ以外の領域とに分けて、スロート 2 0 A の大きさ及びスロート 2 0 A 周辺の形状がほぼ同一の検定ノズル 2 1 を用いて作動ガスの温度が大気温度 T_a での排除厚さ t_1^* が正確に求められる。そのうえで、大気温度 T_a での作動ガスの圧力 P_0'' 及び流量 m'' に基づいて、ノズル 2 0 の排除厚さ面積を除く断面積 A_g^* が求められ、排除厚さ t_1^* と、排除厚さ面積を除く断面積 A_g^* とから、排除厚さ面積を含むスロートの断面積 (幾何学的なスロート断面積) A^* が求められる。このようにすれば、未知数をなくした状態で作動ガスの流量 m'' 、圧力 P_0'' 及び大気温度 T_a に基づいて、流体力学の関係式を用いて排除厚さ面積を含むスロート断面積 A^* を求めることができる。この結果、ノズル 2 0 のスロート 2 0 A の摩耗量 A^* を正確に検出することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

また、本実施の形態に係るノズル摩耗量検出方法によれば、新品のノズル 20 のスロート径が図面通りに仕上がっているか否かを簡単かつ高精度に点検することができる。また、使用中のノズル 20 についても、スロート径を簡単かつ高精度に点検することができる。また、最適なガス条件（圧力、温度）でコーティングを行うことができるので、品質が向上する。また、ノズル 20 を交換すべきか否かを適切に判断することができる。

【 0 0 7 9 】

また、本実施の形態に係るノズル摩耗量検出方法は、スロート断面が円形でなくても（例えば摩耗により円形でない形になっても）、スロート断面を等価円に置き換えて、スロート 20 A の摩耗量を精度よく検出することが可能である。

10

【 0 0 8 0 】

なお、上記実施の形態では、作動ガスの圧力及び温度を調整したが、本発明はこれには限られず、作動ガスの圧力又は温度の一方を調整するようにしてもよい。

【 0 0 8 1 】

その他、制御装置 50 のハードウェア構成やソフトウェア構成は一例であり、任意に変更および修正が可能である。

【 0 0 8 2 】

制御部 31、主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36、内部バス 30 などから構成される制御装置 50 の処理を行う中心となる部分は、専用のシステムによらず、通常のコンピュータシステムを用いて実現可能である。例えば、前記の動作を実行するためのコンピュータプログラムを、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM 等）に格納して配布し、当該コンピュータプログラムをコンピュータにインストールすることにより、前記の処理を実行する制御装置 50 を構成してもよい。また、インターネット等の通信ネットワーク上のサーバ装置が有する記憶装置に当該コンピュータプログラムを格納しておき、通常のコンピュータシステムがダウンロード等することでコンピュータを構成してもよい。

20

【 0 0 8 3 】

制御装置 50 の機能を、OS（オペレーティングシステム）とアプリケーションプログラムの分担、または OS とアプリケーションプログラムとの協働により実現する場合などには、アプリケーションプログラム部分のみを記録媒体や記憶装置に格納してもよい。

30

【 0 0 8 4 】

搬送波にコンピュータプログラムを重畳し、通信ネットワークを介して配信することも可能である。たとえば、通信ネットワーク上の掲示板（BBS, Bulletin Board System）にコンピュータプログラムを掲示し、ネットワークを介してコンピュータプログラムを配信してもよい。そして、このコンピュータプログラムを起動し、OS の制御下で、他のアプリケーションプログラムと同様に実行することにより、前記の処理を実行できるように構成してもよい。

【 0 0 8 5 】

この発明は、この発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。

40

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 6 】

本発明は、コールドスプレー装置のノズルのスロートの摩耗量の検出に適用することができる。コールドスプレー装置は、機械部品や電気・電子部品の特定の面の電気伝導や放熱を促進したい場合に有用である。この用途には、当該の面に銅粒子をコーティングするのが最適であるが、銅粒子は酸化しやすく、酸化するとコーティング面の電気伝導率や熱

50

伝導率が低下する。しかし、コールドスプレー装置は、銅粒子を酸化させずにコーティングすることができる。また、コールドスプレー装置は、スパッタリングターゲット（円筒状）の肉盛り再生にも有用である。加えて、熱に弱いマグネシウム合金の部品の補修に好適である。

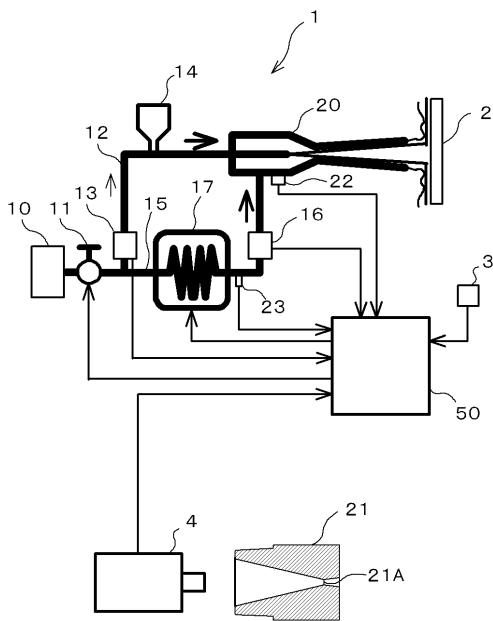
【符号の説明】

【0087】

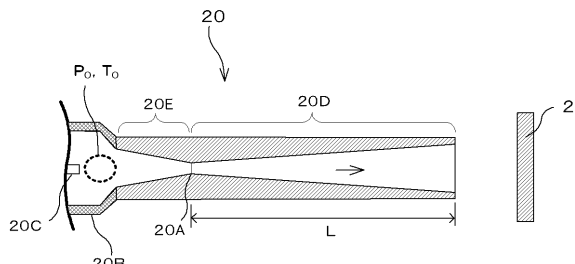
1 コールドスプレー装置、2 基材、3 温度計、4 接触式または非接触式の計測装置、10 ガス源、11 電動バルブ、12 第1のガス供給路、13 ガス流量計、14 パウダフィーダ、15 第2のガス供給路、16 ガス流量計、17 ヒータ、20 ノズル、20A スロート、20B 貯気室、20C 粒子噴射管、20D 末広部、20E 先細部、21 検定ノズル、21A スロート、22 圧力計、23 温度計、30 内部バス、31 制御部、32 主記憶部、33 外部記憶部、34 操作部、35 表示部、36 通信部、39 プログラム、50 制御装置、51 排除厚さ検出部、51A 径取得部、51B 計測部、51C 断面積算出部、51D 排除厚さ算出部、52 断面積算出部、53 摩耗量検出部、54 指令生成部、55 記憶部。

10

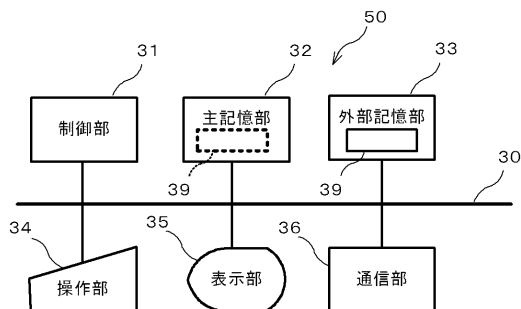
【図1】



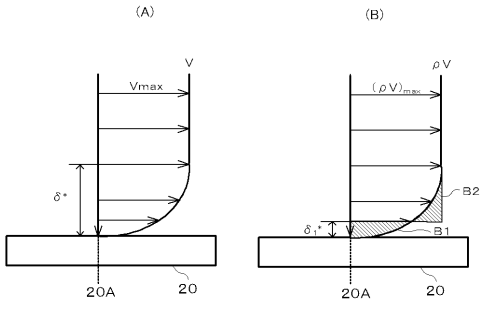
【図2】



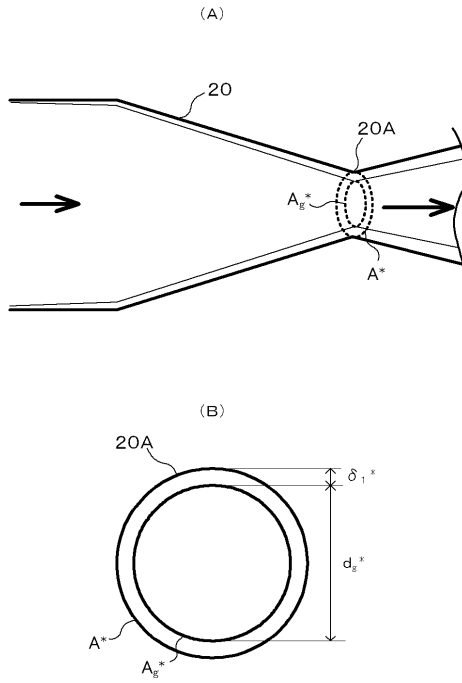
【図3】



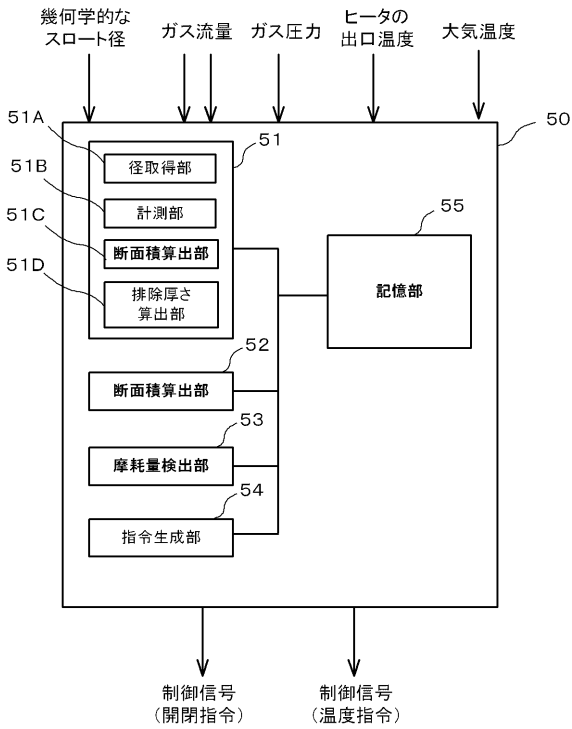
【 図 4 】



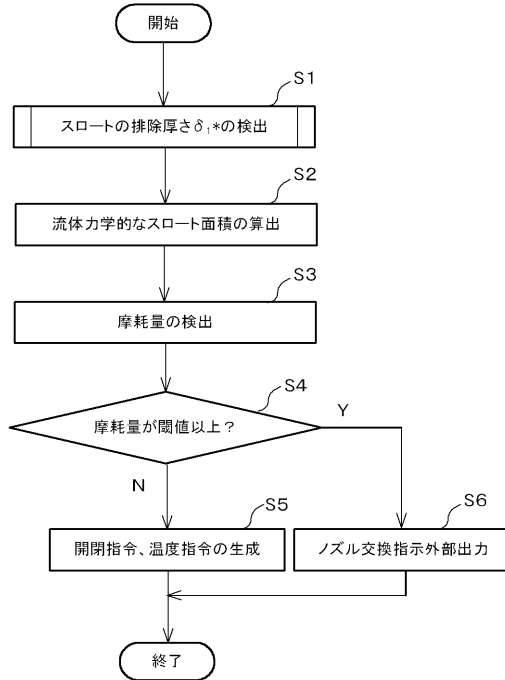
【 図 5 】



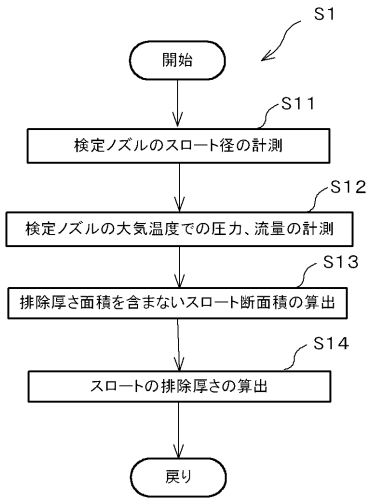
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F066 AA09 AA66 BB03 CC40 DD07 DE02 FF08 FF09 HH02 HH12
JJ11
4D073 AA01 BB06 CA16 CA30
4K044 AA06 AB10 BA06 BC12 BC14 CA23 CA24 CA29 CA71