

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6211544号  
(P6211544)

(45) 発行日 平成29年10月11日(2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日(2017.9.22)

(51) Int.Cl.

F 1

B24C 5/02 (2006.01)  
B24C 7/00 (2006.01)B 24 C 5/02  
B 24 C 7/00B  
D

請求項の数 18 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2014-560351 (P2014-560351)  
 (86) (22) 出願日 平成25年3月6日 (2013.3.6)  
 (65) 公表番号 特表2015-512793 (P2015-512793A)  
 (43) 公表日 平成27年4月30日 (2015.4.30)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2013/054488  
 (87) 國際公開番号 WO2013/135538  
 (87) 國際公開日 平成25年9月19日 (2013.9.19)  
 審査請求日 平成28年3月4日 (2016.3.4)  
 (31) 優先権主張番号 1204253.7  
 (32) 優先日 平成24年3月11日 (2012.3.11)  
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(73) 特許権者 514226888  
 フайнパート スウェーデン アーベー  
 スウェーデン国エスー517 22ボッレ  
 ビグド. ピーオーボックス99  
 (74) 代理人 100127926  
 弁理士 結田 純次  
 (74) 代理人 100140132  
 弁理士 竹林 則幸  
 (72) 発明者 ドナルド・ミラー  
 イギリス国ベッドフォード ベッドフォー  
 ドシャー エムケー43 7ディージー.  
 ハロルド. チャーチウォーク. ブルックサイド

審査官 須中 栄治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】研磨剤ジェットシステム (ABRASIVE JET SYSTEM)

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

研磨剤切断ジェットを生じさせる研磨剤ジェットシステムであって、  
 加圧水を受けて高速ウォータジェットを生成するように適合された切断ヘッドと、  
 研磨剤懸濁液源と、  
 該研磨剤懸濁液源を該切断ヘッドと流体連通させる導管と、  
 前記導管内に設けられ、開状態および閉状態を有する研磨剤懸濁液開閉弁と、  
 前記導管のうち、該切断ヘッドと該研磨剤懸濁液開閉弁との間に位置する部分と流体連通する変位流体源とを備え、ここで、前記研磨剤懸濁液源の圧力は、前記変位流体源の圧力を下回るように制御可能であり、

前記研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、かつ該切断ヘッド内に前記高速ウォータジェットが存在するとき、該研磨剤懸濁液は、前記導管を介して該切断ヘッド内へ流れ、該高速ウォータジェットによって同伴されて研磨剤切断ジェットを生じさせ、

該切断ヘッドに高速ウォータジェットがなく、かつ該研磨剤懸濁液源の前記圧力が前記変位流体源の圧力を下回り、ならびに前記研磨剤懸濁液開閉弁が開かれているとき、該導管内に存在する研磨剤懸濁液は、前記研磨剤懸濁液源の方へ変位される、前記研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項2】

前記研磨剤懸濁液源の前記圧力は、大気中より低い圧力である、請求項1に記載の研磨剤ジェットシステム。

10

20

## 【請求項 3】

前記研磨剤懸濁液開閉弁の開閉を制御する制御システムを備え、ここで、

前記研磨剤懸濁液開閉弁が閉じており、かつ切断ヘッドに高速ウォータージェットがないとき、該制御システムは、所定の期間内で、前記研磨剤懸濁液開閉弁を開いて、変位流体が導管内に存在する研磨剤懸濁液を前記研磨剤懸濁液源の方へ変位させることを可能にするように適合される、請求項 1 または 2 に記載の研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項 4】

研磨剤ジェットシステムの動作の際に懸濁される研磨粒子床を収容するホッパと、

前記ホッパと流体連通する入口端部および出口端部を有する流れ回路とを備え、

ここで、前記導管は、接続点で前記流れ回路に連結され、前記接続点は前記研磨剤懸濁液源に相当する、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。 10

## 【請求項 5】

前記接続点の圧力を制御する制御ユニットと、

前記接続点付近で流れ回路内の圧力を監視して、前記圧力を示す信号を該制御ユニットへ提供する感圧デバイスとを備える、請求項 4 に記載の研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項 6】

流れ回路内で前記接続点の下流にポンプを備え、ここで、接続点の圧力は、該ポンプを通る流量を制御することによって制御される、請求項 4 または 5 に記載の研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項 7】

前記制御ユニットは、ポンプに動作可能に連結されており、感圧デバイスからの前記信号に基づいてポンプの速度 / 流量を制御し、それによって前記接続点の圧力を制御するように適合される、請求項 5 、または請求項 5 に従属するときの請求項 6 に記載の研磨剤ジェットシステム。 20

## 【請求項 8】

流れ回路内で前記接続点の上流に可変絞りを備え、ここで、接続点の圧力は、該絞りを通る流量を制御することによって制御される、請求項 4 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項 9】

前記制御ユニットは、可変絞りに動作可能に連結されており、感圧デバイスからの前記信号に基づいて絞りを変動させ、それによって前記接続点の圧力を制御するように適合される、請求項 5 に従属するときの請求項 8 に記載の研磨剤ジェットシステム。 30

## 【請求項 10】

前記切断ジェットが放出される出口を有する集束管を備え、該集束管出口は、周囲の流体中に浸漬されており、それによって、前記切断ジェットが放出されていないとき、周囲の流体は出口を通って該集束管に入ることが可能であり、

ここで、前記切断ジェットが放出されていないとき、前記変位流体源は、集束管に入った周囲の流体である、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

## 【請求項 11】

前記流れ回路内の流量は、2 倍、より適切には 5 倍など、切断ヘッドへの前記導管内の流量より大きい、請求項 4 または請求項 4 に従属するときの請求項 5 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。 40

## 【請求項 12】

前記ホッパは、研磨粒子床の上にカバー水を含み、研磨剤ジェットシステムは、制御システムと、

前記研磨粒子床を搅拌し、該制御システムによって制御される搅拌器とをさらに備え、

ここで、前記ホッパの寸法は、カバー水の表面が本質的に静止するように、搅拌された研磨粒子床が床の上のカバー水の深さで維持されるような寸法である、請求項 4 または請求項 4 に従属するときの請求項 5 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

。

**【請求項 1 3】**

流れ回路の入口端部は、攪拌された研磨粒子床内で、研磨剤濃度が切断ヘッドで必要とされる濃度になる場所に位置決めされ、またはそのような場所に位置決めすることができる、請求項 1 2 に記載の研磨剤ジェットシステム。

**【請求項 1 4】**

前記ホッパは、前記ホッパ内の研磨剤の量を判定する重量センサ上に取り付けられる、請求項 1 2 または 1 3 に記載の研磨剤ジェットシステム。

**【請求項 1 5】**

前記攪拌器は、前記研磨粒子床と前記カバー水との間で可動である、請求項 1 2 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

10

**【請求項 1 6】**

流れ回路の前記入口端部は、前記研磨粒子床と前記カバー水との間で可動である、請求項 1 2 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

**【請求項 1 7】**

カバー水の表面の上に、乾燥研磨粒子源が設けられる、請求項 1 2 ~ 1 6 のいずれか 1 項に記載の研磨剤ジェットシステム。

**【請求項 1 8】**

前記制御システムは、重量センサおよび乾燥研磨粒子源に動作可能に連結され、重量センサからの入力信号に基づいて前記乾燥研磨粒子源からカバー水の表面上への乾燥研磨粒子の放出を制御する、請求項 1 4 に従属するときの請求項 1 7 に記載の研磨剤ジェットシステム。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、水中に懸濁させた研磨粒子を研磨剤ウォータージェット装置 (a b r a s i v e w a t e r j e t a p p a r a t u s) の切断ヘッドへ送出するシステムに関する。

**【背景技術】****【0 0 0 2】**

同伴研磨剤ウォータージェット装置 (e n t r a i n m e n t a b r a s i v e w a t e r j e t a p p a r a t u s) の切断ヘッド内では、超高压水が高速ウォータージェットに変換される。ウォータージェットは、切断ヘッド内でチャンバを横切る。このチャンバは、通路化された連結部を有しており、キャリア流体中の研磨粒子はこの連結部を通ってチャンバに入る。ウォータージェットは、チャンバから出て、集束管 (f o c u s t u b e) の狭くなっている入口および孔に入り、研磨粒子およびキャリア流体を集束管孔内へ同伴する。集束管孔内では、ウォータージェットと研磨粒子との間で運動量が交換され、集束管の出口で研磨剤の切断ジェットを生成する。

30

**【0 0 0 3】**

話を簡潔にするために、以下、研磨剤の切断ジェットを切断ジェットと呼ぶ。集束管は、当技術分野では、混合管、研磨剤ウォータージェットノズル、およびノズルとしても知られている。

40

**【0 0 0 4】**

200ミクロンを上回る直径を有する切断ジェットは、効果的に切断するために、約40ミクロンより大きい平均直径を有する研磨粒子を必要とする。そのような粒子は、自由に流動しており、計量するのが、また配管内の空気流によって切断ヘッドへ動的に輸送するのが容易である。200ミクロン未満の直径を有する切断ジェットを生成するには、約40ミクロン未満の直径を有する研磨粒子が必要とされ、直径50ミクロンの切断ジェットの場合、粒子の直径は、約10ミクロンまで減少する。研磨粒子の直径が40ミクロンを下回ると、微細な研磨剤が環境に露出されることによって湿気が急速に吸収されるため、粒子間の粒子間力および摩擦が急速に増大し、その結果、粒子はそれほど容易に流れな

50

くなり、粒子の凝集が深刻な問題となる。空気流中で搬送されるとき、直径約40ミクロン未満の粒子は、静電力の結果、管の壁および切断ヘッド通路の壁に付着する傾向がある。切断ヘッド通路の壁に付着した粒子は、特に水流の開始および停止中に濡れる可能性があり、これは、粒子の凝集と、それに続く閉塞とを招く可能性がある。これらの要因により、空気流中に研磨粒子を動的に懸濁させることによって平均直径約40ミクロン未満の研磨粒子をホッパから切断ヘッドへ計量して送出することは、困難または不可能である。

#### 【0005】

粒径が空気流中で切断ヘッドへ動的にうまく計量して搬送することができないようなものであるとき、粒子のキャリア流体を水または別の液体に変更することが必要である。本特許出願の輸送方法は、研磨粒子を十分な水または他の液体中に一時的に懸濁させて切断ヘッドへ流すことを含む。水は好ましい液体であるため、本明細書全体にわたって水を参考する。本明細書全体にわたって、水中に一時的に懸濁させた研磨粒子を研磨剤懸濁液(*abrasive suspension*)と呼ぶ。本明細書では、研磨剤という用語は、研磨粒子を意味するものと解釈される。

10

#### 【0006】

研磨剤懸濁液を同伴する切断ヘッドは、当技術分野では30年以上にわたって知られているが、精密機械加工に対して商業的には活用されていない。この理由には、空気流中に研磨剤を同伴する切断ヘッドに比べて切断性能が乏しいことや、研磨剤懸濁液送出システムを動作させるのが複雑、不確実、かつ困難であることが含まれる。

#### 【0007】

20

微細機械加工の多くの適用分野で、研磨剤ウォータージェットの独自の切断能力から利益が得られるはずである。研磨剤懸濁液を同伴する切断ヘッドの切断性能が乏しいことは、最近、特許出願の特許文献1および特許文献2で本発明者によって対処されている。具体的には、前記特許出願の切断ヘッドを使用して、約50ミクロンまで小さい直径を有する切断ジェットを生成することができる。前記特許出願の切断ヘッドを活用するには、効果的で、容易に使用でき、かつ信頼性が高い研磨剤懸濁液送出システムの開発が必要とされる。

#### 【0008】

水中に一時的に懸濁させた研磨剤を切断ヘッドへ送出する際に必要とされるプロセスは、空気流中に動的に懸濁させた研磨剤を切断ヘッドへ搬送する際に必要とされるプロセスとは根本的に異なり、かなり複雑である。研磨剤を水中に一時的に懸濁させたとき、時間とせん断力の両方に依存する流動学的なプロセスが必要とされ、これらのプロセスは、計量、流動挙動、ならびに重力および水の移動による相分離に影響を与える。重要なのは、空気流中に動的に懸濁させた研磨剤が切断ヘッドへ流れるときには依存しないパラメータである複数の切断ヘッド研磨剤送出パラメータが、切断ヘッドが研磨剤懸濁液を同伴するときには依存性のパラメータになることである。依存しない切断ヘッドパラメータから依存性の切断ヘッドパラメータへ変化することで、空気中に動的に懸濁させた研磨剤を切断ヘッドへ送出する研磨剤ウォータージェット装置と比較すると、機械ツールの一部として研磨剤ウォータージェット装置を動作させるのに必要とされる制御および自動化のレベルがますます増大する。

30

#### 【0009】

特許文献3に記載されているものなどの従来技術では、微細な研磨剤懸濁液を切断ヘッドへ送出することができる事が実証されているが、研磨剤懸濁液を用いた機械加工を商業的に実用的にする研磨剤送出システムをどのように設計するかは教示されていない。従来技術は、研磨剤ウォータージェット装置が機械ツールの一部であるときに満足させなければならない研磨剤懸濁液送出システムの設計および動作の複数の態様に対処していない。これらの態様には、粒子の目詰まりおよびそれに続く流路閉塞の回避、機械加工サイクル中の研磨剤懸濁液の沈殿の回避、研磨剤切断ジェット中の研磨剤濃度の制御、ならびに研磨剤懸濁液送出システムと機械ツールの自動化および一体化が含まれる。これらの態様はすべて、本発明によって対処される。

40

50

## 【0010】

高い固体濃度を有する固体／液体混合物の流れは、特に粒子の目詰まりを起こしやすく、導管内および流れシステムの構成要素内で閉塞の形成を招く。目詰まりが起こると閉塞が生じ、液体が閉塞に浸透して追加の粒子が堆積されるにつれて閉塞は大きくなる。閉塞を一掃するために圧力を増大させると、閉塞を固める可能性がある。これは通常、システムを分解して閉塞を物理的に除去しなければならないことを意味する。固体／液体の流れシステム内で閉塞によって引き起こされる問題を最小にすることは、固体／液体の流れシステムの設計および動作において重要な役割がある。研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッド向けの研磨剤懸濁液送出システムに関する従来技術は、目詰まりの問題に関して触れていない。

10

## 【0011】

粒子の寸法が小さければ小さいほど、閉塞形成のリスクはより低くなる。他のパラメータが等しい場合、粒径が大きければ大きいほど、切断速度はより高くなる。効率的な切断を実現するには、切断ヘッド集束管の孔の中に生じる閉塞を招きうる直径に迫る平均直径を有する粒子で切断することが必要である。粒径は、望ましくは、集束管孔の直径の約20%である。明示しないが、特許文献3に記載されているものなどの従来技術の研磨剤懸濁液送出システムは、集束管の直径に対して粒子寸法を最適化しておらず、効率的な切断には小さすぎる研磨粒子で動作していた。そのようなシステムは、効率的な切断に合わせて最適化された粒子寸法で動作するシステムより、閉塞をはるかに起こしにくい。

## 【0012】

20

閉塞は、流量絞り (flow restriction) で、配管および流路内で研磨剤が沈殿した領域で、ならびに水の這い上がりまたは移動のために脱水が生じたときに、生じる可能性が最も高い。固体／液体の流れシステムの設計で認められている慣行は、流れが停止したときに固体の動きを最小にするために急傾斜の導管を回避することである。研磨剤ウォータージェット切断ヘッドへの連結部で使用されるプラスチック配管など、小さい孔の導管の急傾斜で垂直の区間内では、研磨粒子は、沈殿して一連のプラグを形成する傾向があり、これらのプラグ間には本質的に透明の水がたまる。いくつかの管径の距離のみにわたって粒子が沈殿するため、急傾斜の配管内では閉塞が迅速に形成する。従来技術は、急傾斜の小さい孔の配管内で研磨剤が沈殿する問題に関して言及していない。急傾斜の小さい孔の導管は、研磨剤懸濁液を研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドへ送出する上で不可避であり、したがって研磨剤が急傾斜の配管内に沈殿することによって引き起こされる問題を防止するように、本特許出願に記載する研磨剤懸濁液送出システムは設計され、これらのシステムの動作は自動化される。

30

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0013】

【特許文献1】EP 2 0 9 7 2 2 3 B 1

【特許文献2】WO 2 0 1 1 / 0 7 0 1 5 4 A 1

【特許文献3】米国特許第4,872,293号

## 【発明の概要】

40

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0014】

本発明の目的は、従来技術の上記その他の欠点を軽減することである。これは、添付の特許請求の範囲に記載の本発明によって実現される。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0015】

本発明は、研磨剤懸濁液源の圧力を制御することによって、研磨剤ジェットシステム内の導管および管を目詰まりのない状態で効率的に保つことができるという理解に基づいている。具体的には、本発明者は、切断ヘッドまたはその付近に変位流体 (displacement fluid) を提供し、提供された変位流体の圧力を下回るように前記研磨

50

剤懸濁液源の圧力を制御することによって、研磨剤懸濁液源の方へ流れる洗い流し／洗浄用の流れを生じさせることができると理解している。

【0016】

したがって、本発明の少なくとも1つの態様によれば、研磨剤切断ジェットを生じさせる研磨剤ジェットシステムが提供され、この研磨剤ジェットシステムは、

加圧水を受けて高速ウォータージェットを生成するように適合された切断ヘッドと、

研磨剤懸濁液源と、

研磨剤懸濁液源を切断ヘッドと流体連通させる導管と、

前記導管内に設けられ、開状態および閉状態を有する研磨剤懸濁液開閉弁と、

前記導管のうち、切断ヘッドと研磨剤懸濁液開閉弁との間に位置する部分と流体連通する変位流体源とを備え、ここで、前記研磨剤懸濁液源の圧力は、前記変位流体源の圧力を下回るように制御可能であり、10

前記研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、かつ切断ヘッド内に前記高速ウォータージェットが存在するとき、研磨剤懸濁液は、前記導管を介して切断ヘッド内へ流れ、高速ウォータージェットによって同伴されて研磨剤切断ジェットを生じさせ、

切断ヘッドに高速ウォータージェットがなく、かつ研磨剤懸濁液源の前記圧力が前記変位流体源の圧力を下回り、ならびに前記研磨剤懸濁液開閉弁が開かれているとき、導管内に存在する研磨剤懸濁液は、前記研磨剤懸濁液源の方へ変位される。

【0017】

研磨剤懸濁液源は、導管への入口など、懸濁研磨剤床 (suspended abrasive) を収容するホッパ内に位置することができる。別法として、研磨剤懸濁液源は、ホッパとの間で水を循環させる流れ回路内など、ホッパの外側の点に位置することができる。20

【0018】

研磨剤懸濁液源の圧力は、様々な代替の方法で制御することができる。たとえば、この圧力は、ポンプ、可変絞り、および／または真空源に連結された制御手段によって制御することができる。

【0019】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記研磨剤懸濁液源の前記圧力は、大気中より低い圧力である。したがって、変位流体源の圧力は、大気圧とすることができます。別法として、研磨剤懸濁液源が大気圧である場合、変位流体源の圧力を大気圧より高くしなければならない。30

【0020】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、前記研磨剤懸濁液開閉弁の開閉を制御する制御システムを備え、ここで、前記研磨剤懸濁液開閉弁が閉じており、かつ切断ヘッドに高速ウォータージェットがないとき、制御システムは、所定の期間内で、前記研磨剤懸濁液開閉弁を開いて、変位流体が導管内に存在する研磨剤懸濁液を前記研磨剤懸濁液源の方へ変位させることを可能にするように適合される。制御システムは、弁を開閉するように弁に動作可能に連結されたアクチュエータを制御することができることが好適である。さらに、別個の弁付きの変位流体源がシステム内に存在する場合、制御システムは、前記変位流体源に位置する弁の開閉も制御するように適合することができる。したがって、前記制御システムによって、導管から研磨剤を一掃することを自動化することができる。40

【0021】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、研磨剤ジェットシステムの動作の際に懸濁される研磨粒子床を収容するホッパと、

前記ホッパと流体連通する入口端部および出口端部を有する流れ回路とを備え、

ここで、前記導管は、接続点で前記流れ回路に連結され、前記接続点は前記研磨剤懸濁液源に相当する。これにより、研磨剤懸濁液源は、切断ヘッドに近接して位置することができる。また、これにより、切断ヘッドへの流量と比較すると、流れ回路内の研磨剤50

懸濁液の流量をより大きくすることが可能になり、流れ回路内の圧力は、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液を開始および停止させるときにそれほど変化しない。

【0022】

したがって、少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記流れ回路内の流量は、2倍、たとえば5倍など、切断ヘッドへの前記導管内の流量より大きい。

【0023】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、前記接続点の圧力を制御する制御ユニットと、前記接続点付近で流れ回路内の圧力を監視して、前記圧力を示す信号を制御ユニットへ提供する感圧デバイスとを備える。

10

【0024】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、流れ回路内で前記接続点の下流にポンプを備え、ここで、接続点の圧力は、ポンプを通る流量を制御することによって制御される。言い換えれば、ポンプは、前記接続点と流れ回路の出口端部との間に位置する。

【0025】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記ポンプは、可变速駆動を有する蠕動ポンプの形態であり、ここで、接続点の圧力は、ポンプの速度を制御することによって制御される。

【0026】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御ユニットは、ポンプに動作可能に連結されており、感圧デバイスからの前記信号に基づいてポンプの速度／流量を制御し、それによって前記接続点の圧力を制御するように適合される。

20

【0027】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、流れ回路内で前記接続点の上流に可変絞りを備え、ここで、接続点の圧力は、絞りを通る流量を制御することによって制御される。言い換えれば、可変絞りは、流れ回路の入口端部と前記接続点との間に位置する。

【0028】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記可変絞りは、可撓性の配管に作用して圧力降下を引き起こし、前記接続点の圧力を下げるアクチュエータの形態である。たとえば、アクチュエータは、クランプを備えることができる。

30

【0029】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御ユニットは、可変絞りに動作可能に連結されており、感圧デバイスからの前記信号に基づいて絞りを変動させ、それによって前記接続点の圧力を制御するように適合される。

【0030】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、研磨剤ジェットシステムは、前記切断ジェットが放出される出口を有する集束管を備え、集束管は、周囲の流体中に浸漬されており、それによって、前記切断ジェットが放出されていないとき、周囲の流体は前記出口を通って集束管に入ることが可能であり、

40

ここで、前記切断ジェットが放出されていないとき、前記変位流体源は、集束管に入った周囲の流体である。

【0031】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、弁付きの変位流体源が、弁付きの連結部を介して切断ヘッドに連結され、したがって、

切断ヘッド内にウォータージェットが存在しないとき、変位流体源弁を開き、かつ第1の導管内の研磨剤懸濁液開閉弁を開くことで、研磨剤懸濁液を導管から研磨剤懸濁液源の方へ変位させ、

切断ヘッド内に前記ウォータージェットが存在するとき、変位流体源弁を開くことで、変

50

位流体を切断ヘッドへ流してウォータージェットによって同伴させる。

【0032】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記ホッパは、研磨粒子床の上にカバー水(cover water)を含み、研磨剤ジェットシステムは、

制御システムと、

前記研磨粒子床を搅拌し、制御システムによって制御される搅拌器とをさらに備え、

ここで、前記ホッパの寸法は、カバー水の表面が本質的に静止するように、搅拌された研磨粒子床が床の上のカバー水の深さで維持されるような寸法である。

【0033】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、流れ回路の入口端部は、搅拌された研磨粒子床内で、研磨剤濃度が切断ヘッドで必要とされる濃度になる場所に位置決めされ、またはそのような場所に位置決めすることができる。

【0034】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記ホッパ内へ直接、または流れ回路内で前記接続点の下流へ、水が送出される。

【0035】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記ホッパは排水路を備える。

【0036】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記ホッパは、前記ホッパ内の研磨剤の量を判定する重量センサ上に取り付けられる。

【0037】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記搅拌器は、前記研磨粒子床と前記カバー水との間で可動である。床とカバー水との間の搅拌器の動きは、相対的な変位と見なされるべきであることを理解されたい。したがって、いくつかの実施形態では、ホッパを静止した状態で保ちながら、搅拌器を上下させることができる。逆に、他の実施形態では、ホッパを上下させることができる。

【0038】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、流れ回路の前記入口端部は、前記研磨粒子床と前記カバー水との間で可動である。この場合も、これは、入口端部とホッパとの間の相対的な変位と見なされるべきである。出口端部もホッパに対して可動とすることができる、したがって出口端部の位置を前記研磨粒子床と前記カバー水との間で変化させることができることが好適である。

【0039】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、カバー水の表面の上に、乾燥研磨粒子源が設けられる。この源は、たとえば、サイロの形態とすることができます。

【0040】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御システムは、重量センサおよび乾燥研磨粒子源に動作可能に連結され、重量センサからの入力信号に基づいて前記乾燥研磨粒子源からカバー水の表面上への乾燥研磨粒子の放出を制御する。

【0041】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記搅拌器は、可变速モータによって駆動され、搅拌器にかかるトルクの信号を提供する。

【0042】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御システムは、搅拌器がカバー水内に位置決めされた状態で搅拌器を起動し、

搅拌器にかかるトルクを測定し、

搅拌器にかかる所定のトルクを超過しないような速度で、搅拌器の位置をホッパ内の研磨剤床内へ変えることによって、研磨剤送出システムを起動するようにプログラムされる。制御システムは、前記所定のトルクに対応する値を設定／記憶することができるコンピュータを備えることができるが好適である。

10

20

30

40

50

## 【0043】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御システムは、  
攪拌器がカバー水内に位置決めされた状態で攪拌器を起動し、  
攪拌器にかかるトルクを測定し、  
重量センサにかかる所定の負荷変化を超過しないような速度で、攪拌器の位置をホッパ  
内の研磨剤床内へ変えることによって、研磨剤送出システムを起動するようにプログラム  
される。前記所定の負荷変化を表す値は、制御システム内に含まれるコンピュータ内に記  
憶することができる事が好適である。

## 【0044】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記起動中、前記制御システムは、  
流れ回路の入口端部がカバー水内に位置決めされた状態でポンプを起動し、  
流れ回路の入口端部の位置を研磨剤床内へ変えるようにさらにプログラムされる。

10

## 【0045】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、前記制御システムは、研磨剤送出システ  
ムを自動的に再起動させることができるように状態で研磨剤送出システムを遮断するよう  
にプログラムされ、ここで、研磨剤送出システムを遮断するとき、制御システムは、  
攪拌器を停止させ、

攪拌器および流れ回路の入口端部の位置をカバー水内へ変え、

研磨剤懸濁液開閉弁を開いて前記導管から研磨剤を一掃し、それに続いて研磨剤懸濁液  
開閉弁を閉じ、

20

流れ回路から研磨剤を一掃するのに十分な期間後、ポンプを停止させる。

## 【0046】

本発明の少なくとも1つの他の態様によれば、研磨剤ジェットシステムのホッパ内に提  
供されて沈殿したまたは部分的に沈殿した研磨粒子床を懸濁させる方法が提供され、この  
方法は、

前記床の上にカバー水層を設ける工程と、

前記床を攪拌するのに適した攪拌器を設ける工程と、

攪拌器にかかるトルクに対する限界値を設定する工程と、

攪拌器をカバー水内に位置決めする工程と、

カバー水内に位置決めされたときに攪拌器を起動する工程と、

30

攪拌器にかかるトルクを測定する工程と、

前記限界値を超過しないような速度で攪拌器を前記床内へ動かす工程とを含む。

## 【0047】

少なくとも1つの例示的な実施形態によれば、この方法は、

重量センサ上にホッパを取り付けて前記ホッパ内の研磨粒子の量を判定する工程と、

重量センサにかかる負荷変化に対する限界値を設定する工程とをさらに含み、

ここで、攪拌器を前記床内へ動かす工程は、負荷変化に対する前記限界値を超過しない  
ような速度で攪拌器を前記床内へ動かす工程を含む。

## 【0048】

本発明の少なくとも1つのさらなる態様によれば、研磨剤ジェットシステムのホッパ内  
に提供されて沈殿したまたは部分的に沈殿した研磨粒子床を懸濁させる方法が提供され、  
この方法は、

40

前記床の上にカバー水層を設ける工程と、

重量センサ上にホッパを取り付けて前記ホッパ内の研磨粒子の量を判定する工程と、

重量センサにかかる負荷変化に対する限界値を設定する工程と、

前記床を攪拌するのに適した攪拌器を設ける工程と、

攪拌器をカバー水内に位置決めする工程と、

カバー水内に位置決めされたときに攪拌器を起動する工程と、

前記限界値を超過しないような速度で攪拌器を前記床内へ動かす工程とを含む。

## 【0049】

50

少なくとも 1 つの例示的な実施形態によれば、前述の方法は、  
 搅拌器にかかるトルクに対する限界値を設定する工程と、  
 搅拌器にかかるトルクを測定する工程とをさらに含み、  
 ここで、搅拌器を前記床内へ動かす工程は、搅拌器にかかるトルクに対する前記限界値  
 を超過しないような速度で搅拌器を前記床内へ動かす工程を含む。

## 【0050】

少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、上記の方法は、  
 カバー水の表面の上に乾燥研磨粒子源を設ける工程と、  
 前記重量センサからの出力に基づいて、ホッパ内の研磨粒子の量を所定の範囲内で保つ  
 ように、前記乾燥研磨粒子源からカバー水の表面の上へ乾燥研磨粒子を放出する工程とを  
 含む。

## 【0051】

少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、上記の方法は、  
 前記ホッパと流体連通する入口端部および出口端部を有する流れ回路、ならびに加圧水  
 を受けて高速ウォータージェットを生成するように適合された切断ヘッドに流れ回路を連結  
 する導管を設ける工程と、  
 カバー水内で前記入口端部および前記出口端部を位置決めする工程と、  
 適切には搅拌器を起動する前に流れ回路を通ってカバー水の流れをポンピングする工程  
 と、  
 入口端部を前記床内へ動かして、懸濁させた研磨粒子を切断ヘッドへ送出することを有  
 効にする工程とを含む。

## 【0052】

少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、上記の方法は、  
 前記導管内に研磨剤懸濁液開閉弁を設ける工程と、  
 流れ回路の入口端部の場所の研磨粒子の濃度が切断ヘッドで必要とされる濃度になって  
 からある期間後に前記開閉弁を開く工程とを含む。

## 【0053】

少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、上記の方法は、  
 一時的な遮断を実行してから再起動を実行する工程を含み、  
 ここで、遮断を実行する工程は、  
 搅拌器を停止させる工程と、  
 搅拌器、および適切な場合は流れ回路の入口端部を、床から離してカバー水内へ動かす  
 工程とを含み、  
 ここで、再起動を実行する工程は、上記で論じた方法の例示的な実施形態の工程を実行  
 することを含む。

## 【0054】

少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、上記の方法は、  
 前記開閉弁を開く工程と、  
 切断ヘッドから研磨剤懸濁液を一掃して流れ回路へ戻すことを可能にするための時間遅  
 延後、前記開閉弁を閉じる工程と、  
 流れ回路を通ってカバー水をポンピング／循環させて、流れ回路から研磨剤を流し出す  
 工程と、  
 さらなる時間遅延後、カバー水のポンピング／循環を停止させる工程とを含む。

## 【0055】

本発明の少なくとも 1 つのさらなる別の態様によれば、研磨剤切断ジェットを生じさせ  
 る研磨剤ジェットシステムが提供され、この研磨剤ジェットシステムは、  
 加圧水を受けて高速ウォータージェットを生成するように適合された切断ヘッドと、  
 研磨剤ジェットシステムの動作の際に懸濁される研磨粒子床を収容し、研磨粒子床の上  
 にカバー水を含むホッパと、  
 切断ヘッドへ研磨剤懸濁液を提供する導管と、

10

20

30

40

50

制御システムと、

前記研磨粒子床を搅拌し、制御システムによって制御される搅拌器とを備え、ここで、前記ホッパの寸法は、カバー水の表面が本質的に静止するように、搅拌された研磨粒子床が床の上のカバー水の深さで維持されるような寸法であり、

前記制御システムは、搅拌器がカバー水内に位置決めされたときは搅拌器を起動し、搅拌器にかかる所定のトルクを超過しないような速度で、または任意選択の重量センサにかかる所定の負荷変化を超過しないような速度で、起動した搅拌器を研磨剤床内へ動かすようにプログラムされる。

#### 【0056】

前述の研磨剤ジェットシステムの少なくともいくつかの例示的な実施形態によれば、前記制御システムは、

10

搅拌器を起動、停止、および位置決めする工程と、

乾燥研磨粒子源から研磨粒子を放出する工程と、

流れ回路の入口端部および出口端部を位置決めする工程と、

流れ回路を通ってカバー水の流れをポンピング／循環させる工程と、

開閉弁を制御する工程とを含む、本発明の前述の態様による方法に記載の項目の動作および位置決めを制御するように適合される。

#### 【0057】

固体／液体の流れシステムは通常、固体がシステムから流されてから流れが停止されるように設計および動作される。切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流れは、数分の1秒から、流れの再開時に閉塞を招きうる研磨剤の沈殿が生じるのに十分な時間までの期間にわたって、停止および再起動させることができる。本発明の実装形態では、研磨剤懸濁液は概して、切断ヘッドでの同伴に利用可能であるが、設定された期間内で、切断が行われない場合、または行われていない場合、送出システムの一部から押し流されるように、研磨剤懸濁液送出システムが設計され、制御システムが提供される。この期間は1分より短くすることができる。従来技術では、可変の不活動期間に挟まれた動的な切断サイクルにかけられる機械ツールの一部を形成する研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドに送出する研磨剤送出システムをどのように設計するかについて考慮されておらず、または明らかにされていない。

20

#### 【0058】

30

切断ヘッド付近および切断ヘッド内の流路の寸法は制限されており、閉塞形成に対するリスクが最も高い場所である。所望の研磨剤濃度より高い研磨剤濃度を有する研磨剤懸濁液のスラグを生成する事象が切断ヘッドの上流で生じると、研磨剤を多く含む懸濁液が切断ヘッドに到達したときに、閉塞を招く可能性がある。本発明の実装形態では、研磨剤懸濁液が切断ヘッドの方へ流れている間に、研磨剤懸濁液源の点の研磨剤懸濁液の流動学的特性および濃度に関して、精密な制御が維持される。

#### 【0059】

本発明者は、圧力変動により微細な研磨剤懸濁液の水の移動が促進され、したがって変動が存在するときは、ポンプから、または薄い材料内に孔をあけるときの複数の短い切断サイクルなどからの脱水が、特に問題になることを見出した。脱水現象は、研磨剤濃度の高い懸濁液では水が懸濁液を通って圧力のより低い領域の方へ優先的に移動するというダイラタンシーによって引き起こされる。本発明の実装形態は、ダイラタンシー現象によって引き起こされる問題を最小にする。

40

#### 【0060】

接合脚部の1つに流れがないときは、導管間の接合部などの流れが再循環する領域が、通路内の空腔内に生じる。本発明者は、圧力変動による影響を著しく受ける速度で流れ接合部の空腔内に微細な研磨粒子が蓄積し、脱水することを見出した。数分以内に、研磨剤を多く含むプラグが形成される可能性があり、このプラグは、流れない接合脚部を完全に充填して成長し続け、5つ以上の通路直径にわたって接合部の流れない脚部内へ延びる。研磨剤を多く含むプラグが形成される前でも、十分な脱水が生じる可能性があり、切断が

50

再開されると、脱水し始めた研磨剤懸濁液が、切断ヘッド内または切断ヘッド付近の直径の小さい通路に到達したときに閉塞を引き起こす可能性がある。本発明の実装形態は、主に、設定された時間より長い時間にわたって切断が停止されたときに流れない接合脚部から研磨剤を周期的に一掃することによって、脱水の影響を緩和する。

#### 【0061】

一般的な慣行は、制御弁などで、固体／液体の流れシステム内の絞り、特に実質的な圧力損失を引き起こす絞りを回避することである。この理由のため、固体／液体システムの流量制御は通常、可変のポンピングによって実現される。切断ヘッドへの研磨剤懸濁液送出システムに関する米国特許第4,872,293号などの従来技術は、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流量、したがって切断ジェット中の研磨剤濃度を制御するために、研磨剤懸濁液システム内に弁を含む。切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流量に関する効果的な制御を提供するには、制御弁内の流量絞り通路を、切断ヘッド内の流路を含む研磨剤送出システム内のある場所の流路よりも小さくする必要がある。米国特許第4,872,293号に記載のものなどの切断ヘッドへの送出導管内の弁が、効果的な切断のために集束管孔の直径に対して最適の寸法の研磨粒子を含有する研磨剤懸濁液の流量を制御するのに十分なほど閉じられると、直ちに閉塞が生じることを予期することができる。研磨剤懸濁液を切断ヘッドへ送出することに關係する従来技術では、制御弁の粒子の目詰まりに関して言及していない。

10

#### 【0062】

本発明の実施形態では、切断ヘッドへ流れる研磨剤懸濁液の圧力は、典型的には切断ヘッドによって同伴される量の約5倍である研磨剤懸濁液の流量で動作するポンプと制御弁との組合せを使用して制御される。研磨剤懸濁液の流量が切断ヘッドで同伴される流量より実質上大きいとき、制御弁内の流路の寸法は、閉塞を引き起こさない。別法として、他の実施形態では、研磨剤懸濁液送出容器内の圧力を制御することで、どのように圧力制御弁の必要性をなくし、またはその使用を低減させるかについて記載している。

20

#### 【0063】

研磨剤ウォータージェット装置によって使用される研磨粒子は、水より3～4倍高密度であり、導管および通路内の懸濁液中で粒子を維持するように攪拌されたり流されたりしなければ、沈殿して床を形成する。堅く沈殿した微細な研磨剤は、固体のように作用し、触ると壊れて塊になる可能性がある。

30

#### 【0064】

研磨粒子の沈殿を遅延させ、または実質上防止するために添加剤を使用することは、当技術分野ではよく知られているが、研磨剤ウォータージェット装置向けの研磨剤懸濁液中で添加剤を使用することによって引き起こされる問題は、当技術分野で取り上げられていない。切断ヘッドを同伴する研磨剤送出システムの場合、添加剤を使用することで、追加の変動要素が導入され、本発明者は、切断ジェット中で予測可能な研磨剤濃度を実現するには、実現不可能ではない場合でも困難であることを見出した。添加剤を使用して研磨剤を懸濁させる結果、粘性が実質的に増大し、複雑で時間に依存する非ニュートン性の流動挙動がもたらされる。また、本発明者は、添加剤が切断性能の損失を引き起こすことを見出したが、その理由は未知である。添加剤を使用することで、研磨剤懸濁液の調製プロセスの複雑さおよびコストがかなり増大する。本発明者は、研磨剤懸濁液送出システムが、研磨剤の沈殿を遅延させる添加剤なしで動作するが、特定の切断動作モードでダイラタンシーのための脱水を最小にするなどの利益が得られる場合、添加剤を使用するという選択肢を有することが望ましいことを見出した。

40

#### 【0065】

空気中に動的に懸濁させた研磨粒子が切断ヘッドへ搬送されるとき、空気の質量は、研磨剤の質量の約3重量%に過ぎない。研磨剤が水中に一時的に懸濁しているとき、この水は、典型的には、ウォータージェットによって加速される総質量の約30重量%を占める。ウォータージェットによって加速されるキャリア水は、研磨粒子に伝達される運動量を低減させ、したがって切断性能を低減させる。したがって、可能な限り高い研磨剤濃度を使用

50

することが望ましい。実際には、これは、研磨剤濃度がわずかに増大すると見掛け上の粘性および閉塞のリスクが急激に上昇するレベルをわずかに下回る研磨剤濃度で動作することを意味する。研磨材料および粒径に応じて、最適の研磨剤濃度は、典型的には 60 ~ 70 重量 % である。

#### 【 0 0 6 6 】

せん断減粘性の添加剤を使用することによって、本発明者は、良好な流動性を維持しながら、約 70 重量 % を超えるように微細な研磨剤懸濁液の研磨剤含有率を増大させることができあることを見出した。しかし、研磨剤濃度を増大させることができ可能な効果的な添加剤は、粒子沈殿時間を低減させ、沈殿した床は、非常に高密度になり、物理的な介入なしに再び懸濁させるのが困難になる。送出システム内で高密度の沈殿が生じないことを確実にするには、研磨剤濃度を最大にするために高分子アクリル分散剤などの添加剤が使用される研磨剤送出システムを精密に制御することが必要である。本特許出願の研磨剤懸濁液送出システムの実装形態は、せん断減粘性の添加剤を使用するために、またはより好ましくは使用しないために必要な制御を提供する。

10

#### 【 0 0 6 7 】

米国特許第 7 9 3 4 9 7 7 号に記載されているように、ペーストの状態または発泡剤中に懸濁させた状態の研磨粒子を切断ヘッドへ送出することで、研磨剤懸濁液を同伴する場合と比較すると、研磨剤ウォータージェットによって加速されるキャリア水の量が低減される。ペーストは、切断ヘッドへ流すために押し出す必要があり、これには、研磨ペーストを切断ヘッドへ送出するための複雑なプロセスおよびシステムを必要とする。同伴研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドへ研磨ペーストを確実に送出するシステムについては、まだ説明されていない。研磨粒子を切断ヘッドへ輸送するのに必要とされる水の量を低減するために発泡性の添加剤を使用すると、多くのうまく制御できない変動要素が導入されるが、発泡剤中に懸濁させた研磨剤を機械ツールの一部である研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドへ一貫して確実に送出する方法については、当技術分野で説明されていない。

20

#### 【 0 0 6 8 】

通常、研磨剤ウォータージェット切断のための研磨粒子は、約 4 の特定の比重を有するガーネット、オリビン、または酸化アルミニウムの粒子である。これらの研磨剤の単離された粒子は、特定の切断ヘッド集束管の直径に適切な直径を有し、切断ヘッド付近および切断ヘッド内の通路内で約 1 秒以内に沈殿する。しかし、研磨剤濃度の高い懸濁液中の粒子間の干渉により、沈殿速度が大幅に低減し、したがって、流動的でない微細な研磨剤懸濁液は通常、研磨剤ウォータージェット送出システムの通路内に約 1 分間留まることができ、流れは問題なく再開することができる。通常の切断動作中の切断しない期間は、問題なく流れを再開できる時間を超過する可能性があり、したがって研磨剤を通路から一掃する手段が必要である。本発明の実装形態では、許容できないレベルの沈殿が生じる可能性が高いとき、研磨剤送出システムの部材から研磨粒子を除去する動作が、研磨剤ウォータージェット装置の制御システム内へプログラムされる。研磨粒子の沈殿に対応するための研磨剤懸濁液送出システムの動作を自動化する必要について、従来技術は言及していない。

30

#### 【 0 0 6 9 】

空気流中に動的に懸濁させた研磨剤を切断ヘッドへ搬送する慣行は、バルクホッパから自動的に注入される切断ヘッドの運動システム上に取り付けられた局部ホッパを有することである。運動システム上の局部ホッパの容量は、好ましくは、数分間で切断ヘッドへ研磨剤を供給するのに十分な体積に制限される。空気流中で搬送される研磨粒子を送出する局部ホッパは、研磨剤遮断弁および研磨剤計量手段を含む。研磨剤計量手段は、切断ヘッドによって生成された空気流中へ研磨粒子を放出し、粒子は、空気流中で配管を通って切断ヘッドへ搬送される。切断ヘッドによって同伴される空気の量は、研磨粒子を切断ヘッドへ搬送するのに必要な量よりも多くなるような配置である。したがって、研磨剤の流量は、空気流量にも、切断ヘッドの空気同伴性能にも依存しない。

40

#### 【 0 0 7 0 】

50

空気流中に搬送された研磨粒子を同伴する研磨剤ウォータージェットをうまく活用するには、切断ジェット中の研磨剤濃度がキャリア空気の流量および切断ヘッドの空気同伴性能に依存しないことが大いに役立つ。研磨剤を切断ヘッドへ搬送するのに最小限必要な量より実質上多くの空気が同伴されるとき、空気の密度が低ければ、切断性能の損失をほとんど引き起こさない。同伴される空気の量の精密な制御が必要とされないため、切断ヘッドの内部幾何形状の広い範囲内で良好な切断性能を実現することができるが、集束管孔および他の切断ヘッド構成要素の相当な摩耗を伴う。

#### 【0071】

空気中に動的に懸濁させるのではなく、水中に一時的に懸濁させた研磨剤を同伴する結果、切断ジェット中の研磨剤濃度がキャリア流体の流量および切断ヘッドの同伴性能に依存しないという利益が失われる。研磨剤懸濁液を同伴するとき、切断ジェット中の研磨剤濃度は、キャリア流体の流量、研磨剤懸濁液中の研磨剤濃度、および切断ヘッドの同伴性能に依存する。これは、空気流中に動的に懸濁させた研磨剤が切断ヘッドへ搬送されるときより、さらに多くの流体力学的プロセスおよび幾何学的パラメータが、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の送出に影響を与えることを意味する。

10

#### 【0072】

理論上、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流量は、正確に計量されるはずである。しかし、高濃度の研磨剤懸濁液のわずかな流量を正確に計量することは極めて困難である。液体中の固体を計量するいかなる周知の技術も、研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流量を測定するには実用的でない。これは、研磨剤濃度が高いこと、材料の研磨性が高いこと、流量が少ないとこと、粒子の目詰まり、1秒当たりの切断サイクルが複数であること、重量および空間の制限、ならびに切断プロセスに近接していることのうちのいくつかの組合せのためである。切断ヘッドへの研磨剤の流量を直接計量する手段がないため、本発明者によって他の手段が開発された。

20

#### 【0073】

研磨剤懸濁液を同伴するとき、切断ジェット中の研磨剤濃度は：

- a ) 研磨剤懸濁液中の研磨剤の濃度、
- b ) 研磨剤懸濁液の流動学的特性、
- c ) 流動性に影響を与える研磨剤懸濁液の搅拌および流れ履歴、
- d ) 集束管孔の始端の直径が研磨剤懸濁液の同伴に関して重要な幾何学的パラメータであり、集束管が摩耗するにつれてこの寸法が変化する状態で、ウォータージェットの同伴特性に影響を与えるものを含む切断ヘッドの幾何学的パラメータに依存する切断ヘッドの同伴性能、
- e ) 切断ヘッドと、システム内で研磨剤混合物を切断ヘッドへ流すように圧力が作用する点との間の研磨剤送出システムの流れ特性、
- f ) 研磨剤混合物を切断ヘッドへ流すように作用する圧力に依存する。

30

#### 【0074】

懸濁液の一定の研磨剤濃度および流動学的特性は、懸濁液の調製によって制御することができる。一貫した搅拌および流れ履歴の研磨剤懸濁液が切断ヘッドに到達するようにすることは、切断ヘッドへ流れる研磨剤懸濁液が類似の搅拌および流れ状態を受け、これらの状態により懸濁液のこれまでの流れ履歴が取り消されることを確実にすることによって実現される。切断ヘッドの幾何学的パラメータは、切断ヘッド構成要素の限界寸法についてミクロンレベルで許容することによって制御される。予測モデリングを使用して、集束管が摩耗するときの幾何形状の変化を相殺することができる。

40

#### 【0075】

複数のパラメータの変動性が制御されまたは予測可能であるため、切断ジェット中の研磨剤濃度を制御するために利用可能な変動要素は、切断ヘッド同伴チャンバーと、送出システム内で研磨剤懸濁液の圧力の制御を実施できる点との間の差圧である。圧力制御点と切断ヘッドとの間で時間およびせん断力に依存する流れプロセスを有する研磨剤懸濁液の流れに与える影響を最小にするために、圧力制御点は切断ヘッドに可能な限り近接している

50

必要がある。局部ホッパが使用される場合、駆動圧力は、研磨剤懸濁液がホッパから導管に入る点と切断ヘッドとの間の圧力差である。

【0076】

研磨剤が空気流によって切断ヘッドへ搬送されるとき、局部ホッパが切断ヘッドに近接している主な理由は、切断サイクル間の時間を最小にすることである。ウォータージェットを停止させる前に、空気中に搬送された研磨剤を配管および切断ヘッドから一掃することは不可欠であり、そうでない場合、配管および切断ヘッド内に残っている研磨剤が沈殿し、切断ヘッド内の粒子が濡れことがある。沈殿した研磨剤が配管に存在するとき、または濡れた研磨剤が切断ヘッド内に存在するとき、切断ヘッドへの水の流れを再開する際に切断ヘッドの流路内または集束管孔内で閉塞が生じる可能性が非常に高い。

10

【0077】

空気中で配管を通って切断ヘッドへ搬送される研磨粒子は、10 m / 秒超で進み、ホッパと切断ヘッドとの間を移動中の研磨剤の量は、10分の1秒未満の切断時間の場合と同等である。切断ヘッドへの配管内の研磨剤懸濁液の速度は、典型的には1 m / 秒未満であるが、切断ヘッドへの連結部内を移動中の研磨剤の量は、数秒の切断時間の場合に達する可能性がある。研磨剤懸濁液は、その流動学的特性が劣化して閉塞の問題を引き起こすまでに配管および切断ヘッドの通路内に約1分間残る可能性があるため、切断を停止させたびに送出システムから切断ヘッドへ研磨剤懸濁液を一掃することは実用的ではなく、または必要ではない。

【0078】

20

本発明の実装形態では、局部ホッパまたは他の形態の局部シンクが設けられており、1つの切断サイクルの終端と次のサイクルの始端との間の時間遅延が設定値を超過したとき、切断ヘッドの通路および配管からの研磨剤懸濁液は、局部ホッパまたは局部シンク内へ変位される。また、研磨剤懸濁液源の点は、研磨剤懸濁液が洗い流された後で送出システムをプライミングすることによって引き起こされる遅延を最小にするために、切断ヘッドに近接して位置することができるような配置である。本発明者は、研磨剤懸濁液源が切断ヘッドの運動システム上に取り付けられた局部ホッパではない場合に相当な利点があることを見出した。

【0079】

30

本発明の実装形態では、切断ヘッドによって必要とされる量より実質上多い研磨剤懸濁液が流れている切断ヘッド付近を進んでいる研磨剤懸濁液を流れ回路から抜き出すことによって、本質的に一定の特性および流れ履歴を有する研磨剤懸濁液が切断ヘッドで提供される。一貫した流量によって誘発された流動学的特性を有する研磨剤懸濁液をそのような流れ回路内で維持するための手段が設けられる。切断ヘッドへの流量と比較すると約5倍の流量が回路内にあり、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流れが開始および停止されたとき、流れ回路内の圧力はあまり変化しない。

【0080】

40

本発明の実装形態では、切断ヘッドまたは切断ヘッド付近で研磨剤懸濁液が流れ回路から抜かれる点の圧力は、懸濁液の流動学的特性、流れ回路内のポンプの場所、およびポンピング速度、ならびに必要な場合、制御可能な絞りによって制御される。絞りは、切断ヘッドへの流量より大きい流量に作用し、これによって絞りの通路寸法は、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液送出連結部内に絞りが位置する場合ほど、閉塞に寄与しなくなる。

【0081】

EP 2 0 9 7 2 2 3 B 1 および WO 2 0 1 1 / 0 7 0 1 5 4 A 1 に記載されている切断ヘッドは、大気圧から絶対真空までの範囲の80%を超える真空を引き出すことが可能である。そのような真空を引き出すことが可能な切断ヘッドが大気圧の源から同伴する研磨剤懸濁液が多すぎることが、本発明者によって見出された。これは、研磨剤懸濁液が切断ヘッドによって同伴される速度を制限するために、研磨剤混合物が源から流れる点の圧力を大気圧より低くしなければならないことを意味する。真空源は、切断ジェット中で所望の研磨剤濃度を実現するために、400 mmHg を超過することができる。

50

## 【0082】

本発明の実装形態では、切断ヘッドおよび源の点と切断ヘッドとの間の導管から研磨剤混合物を一掃することを可能にするために、研磨剤混合物が研磨剤懸濁液源から抜き出される点の圧力は、大気圧を下回る圧力で維持される。ウォータージェットがないとき、切断ヘッドで導入される変位流体は、研磨剤懸濁液源の方へ流れる。変位流体は、集束管を通って引き出すことができ、この場合、変位流体は周囲の流体であり、空気、または集束管の出口が浸漬されている場合は水のいずれかである。別法として、本発明の実施形態では、弁付きの空気、水、または他の流体の源が、切断ヘッド同伴チャンバに連結され、または研磨剤懸濁液開閉弁と切断ヘッドとの間の導管に連結される。

## 【0083】

10

切断を中断すると、研磨剤懸濁液源および切断ヘッドを連結する配管内の研磨剤懸濁液開閉弁が、ウォータージェット遮断弁が閉じられるのとほぼ同時に閉じられる。切断サイクルの開始時には、研磨剤懸濁液開閉弁は、ウォータージェット遮断弁を開くのとほぼ同時に開かれる。例外は、1秒当たり複数の切断または穿孔動作が実施されるときに、切断および穿孔サイクル間に研磨剤懸濁液開閉弁を閉じなくてもよいときである。

## 【0084】

切断ヘッド同伴チャンバまたは研磨剤懸濁液遮断弁と同伴チャンバとの間の連結部に連結された変位流体源への弁を開く結果、研磨剤懸濁液ではなく変位流体が同伴される。これは、変位流体源への弁を開閉することによって、研磨剤による切断を開始および停止させることができることを意味する。本発明の実装形態では、変位水の流量を制御することによって、同伴される研磨剤懸濁液の量、したがって切断ジェット中の研磨剤濃度が変更される。

20

## 【0085】

研磨剤懸濁液の特性が切断ヘッド内または研磨剤懸濁液源への連結部内で悪い方向に変化する前に切断が予定されていないとき、研磨剤懸濁液開閉弁は、変位流体が研磨剤懸濁液を本質的に一掃して源へ戻すのに十分な時間にわたって開かれる。研磨剤懸濁液を一掃してその点の源へ戻した後、その点付近で研磨剤の著しい脱水を防止するために、懸濁液開閉弁を周期的に瞬間に開くことが予定される。変位流体を研磨剤懸濁液源の方へ流すために研磨剤懸濁液弁が開かれるタイミングおよび持続時間は、研磨剤ウォータージェット装置の制御システム内へプログラムされる。別法として、本発明の実装形態では、その点への連結部を弁で封止し、したがって研磨剤懸濁液が脱水しうるデッドスペースが存在しないような配置である。

30

## 【0086】

特にポンプはかなりの量の空気ならびに研磨剤懸濁液を通すことが可能でなければならぬいため、約400mmHgまで下がりうるポンプ入口真空圧力で60~70重量%の微細な研磨剤懸濁液をポンピングすることは、極めて困難な動作責務である。蠕動ポンプは、蠕動ポンプが相当な圧力脈動を生じさせる動作モードによって、その動作責務を満たすことができるが、減衰されていない場合、加工物切断面上に細い筋を付け、研磨剤懸濁液中の水の移動を促進する。本発明者は、切断ヘッドに到達する圧力脈動は、流れ回路の部材に対してシリコーンゴムなどの可撓性の高い配管を使用して十分に減衰することができるを見出した。しかし、研磨剤懸濁液の脱水に影響を与えるわずかな変動が残るが、これらは、本発明に対する研磨剤懸濁液送出システムの設計および動作で許容される。

40

## 【0087】

可撓性の配管から形成される導管を使用することで、アクチュエータが配管に作用して研磨剤懸濁液開閉弁を提供し、制御可能なアクチュエータが配管に作用して可変の流れ弁作用を提供することが可能になる。そのような手段によって、懸濁液の研磨剤を多く含むスラグが形成されて切断ヘッドへ搬送するために研磨剤が蓄積して問題を引き起こしうる流れ回路内への貢入が回避される。本発明の実装形態では、アクチュエータは、研磨剤懸濁液が切断ヘッドへ流れるよう流れ回路から抜き出される点の上流で可撓性の配管に作用し、ポンプはその点の下流に位置する。本発明の実装形態では、弁およびポンプは、

50

研磨剤懸濁液が流れ回路から切断ヘッドへ抜かれる点で所望の圧力を維持するように自動的に制御される。

#### 【0088】

本発明では、研磨剤懸濁液の圧力が大気圧未満まで実質上低減されるため、流れ回路内で水からガスを抜くことができる。本発明者は、溶液から取り出されたガスは、切断ヘッドに到達して切断面上に細い筋を付ける可能性があり、一方で、空気または他のガスの突然の解放によって引き起こされる圧力変動も切断面上に細い筋を付けることを見出した。水源に応じて、研磨剤懸濁液の調製の際、使用される水から部分的にガスを抜くことが必要になることがある。

#### 【0089】

研磨剤の特性に応じて、容器または送出ホッパ内の微細な研磨剤からなる研磨剤床の底部は、約1時間で堅く沈殿した状態に近づく可能性がある。この期間が長ければ長いほど床はより堅くなり、床は固体になったと見なすことができる。ホッパ内の微細な研磨剤が沈殿しうる場合、攪拌を再開するためのトルクは、定常状態の攪拌トルクの10倍以上となる可能性があり、沈殿した微細な研磨剤中に攪拌器が埋まらないようにする事が不可欠である。沈殿した微細な研磨剤中に攪拌器が埋まらないように研磨剤ウォータージェット装置の送出システムをどのように設計することができるのかに関して、従来技術は言及していない。本発明の実装形態では、研磨剤ウォータージェット装置が遮断されて沈殿した床の中に攪拌デバイスが再び入ったときに、どのようにホッパ内の床から攪拌デバイスを制御された形で抜き出し、床を流動化させてから切断動作を始めるかについて説明している。

#### 【0090】

攪拌された微細な研磨粒子の容器内で攪拌器から離れる方向の流体運動は、急速に減衰する。急速な運動の減衰の結果、沈殿した微細な研磨剤床内へ導入された攪拌器は、攪拌器の直径よりわずかに大きい直径を有する空腔を作成する傾向がある。本発明者は、ホッパ内の研磨剤床の横断面全体を混合するには、ホッパ直径の70%以上の直径を有する攪拌器が望ましいことを見出した。

#### 【0091】

研磨剤ウォータージェット切断のための微細な研磨剤の粉末は通常、適度に狭い粒子分布を有する粉末を生じさせるのに必要な最小限の分類にかけた比較的低コストの鉱物である。研磨剤の粉末は、容易に空気で運ばれる1ミクロン以下の粒子を含有し、濡れた粒子は表面に付着して乾き、粘着性の膜になる。研磨剤懸濁液はコンテナの壁に付着し、したがってコンテナを完全に空にすることは不可能であり、これによって廃棄物が生じる。したがって、研磨剤懸濁液の調製のための機器が、研磨剤ウォータージェット装置の一部を形成し、研磨剤が表面上で乾燥するのを防いで空気で運ばれる粒子を最小にするように乾燥粉末状の研磨剤を受けることが、非常に望ましい。

#### 【0092】

本発明の実装形態は、かき混ぜ式のホッパを有し、このホッパには、バルク収納容器から手動または自動で乾燥研磨剤が自動的に注入される。流体中の垂直方向の密度勾配による乱流抑制という物理的現象を活用して、かき混ぜ式のホッパ内のカバー水の下で、攪拌された研磨剤床から研磨剤懸濁液が抜き出される。適切な攪拌および床の厚さを使用して、攪拌した研磨剤床の上で、比較的静止したカバー水が維持される。ホッパ壁から離れてカバー水の表面上へ送出される乾燥研磨粒子は、密度流内で攪拌された研磨剤床へ下降し、カバー水とほとんど混合されない。制御された速度および適切な場所で研磨剤床内へ抜かれる水は、研磨剤懸濁液が床から抜き出される場所で、所望の研磨剤濃度を維持するのに役立つ。床を通って流れる余分な水は、カバー水の表面で排水され、カバー水の表面を濡らさずにその上に浮かぶ研磨剤送出物中の材料を運び去るような配置である。

#### 【0093】

重要なのは、本発明の研磨剤懸濁液調製方法が、研磨剤懸濁液がホッパから抜き出される点で所望の研磨剤濃度を実現するために、研磨剤懸濁液ホッパ内への水を正確に計量す

10

20

30

40

50

ることを必要としないことである。

【0094】

抜き出した場所での懸濁液中の研磨剤の所望の濃度は、攪拌強度、床の厚さ、カバー水の深さ、研磨剤懸濁液の流れを床の中へ戻す場所、ならびに床に入る水の流れの場所および速度の組合せによって実現される。ロードセル上にホッパを取り付けることで、バルク収納容器からの乾燥研磨剤によって、研磨剤床の厚さを維持するようにホッパ内の研磨剤を監視して自動で注入することを可能にする。

【0095】

水を研磨剤床内へ抜くのではなく、研磨剤懸濁液が切斷ヘッドへ流れるように抜き出される点とポンプとの間で研磨剤懸濁液流れ回路内へ水を抜くことが有利である。水は、ポンピングされている研磨剤濃度を低減させて、ポンピングの動作責務をより容易にする。また、ポンピング動作責務の重大度を低減させるために、ホッパからのカバー水がその点とポンプとの間で流れ回路内へ引き込まれるような配置とすることができます。

10

【0096】

研磨剤懸濁液流れ回路内で蠕動ポンプまたは他の直接駆動式のポンプを使用しないことが望ましい場合、ホッパのカバー水を利用するジェットポンプを使用することができます。これが当てはまるとき、研磨剤の相当な沈殿を許容するために研磨剤床の上に十分な深さのカバー水を有するより大きい体積のホッパが必要とされる。

【0097】

研磨剤懸濁液が切斷台から再び利用される場合、適切なレベルでホッパ内へ送出することができる。ホッパ設計では、ホッパ内に研磨剤濃度が増大する沈殿区間を含むことによって、再利用された研磨剤が、切斷ヘッドで所望されるよりはるかに低い研磨剤含有率で懸濁液としてホッパに入ることを可能にすることができる。

20

【0098】

研磨剤懸濁液送出システムが長期間にわたって遮断されるとき、研磨剤懸濁液は流れ回路から洗い流される。カバー水が研磨剤床の上にある状態で動作するホッパの場合、研磨剤懸濁液流れ回路への入口は、好ましくは浸漬管の形態であり、この浸漬管をカバー水内へ持ち上げてから流れ回路を遮断し、したがってカバー水をポンピングして流れ回路から研磨剤を洗い流す。

【0099】

30

機械ツール環境内で動作するために、本発明に対する攪拌されたホッパおよび研磨剤懸濁液流れ回路の起動および遮断手順が、機械ツールの制御装置内へプログラムされる。本発明の好ましい研磨剤懸濁液送出配置 (abrasive suspension feed arrangement) を起動するには、研磨剤懸濁液流れ回路内のポンプが起動され、研磨剤懸濁液流れ回路内でホッパからのカバー水の流れが確立されてから、インペラの回転を開始してホッパを持ち上げ、したがってインペラが研磨剤床を再び懸濁させる。攪拌器が沈殿した床を再び懸濁させると同時に攪拌器に負荷をかけすぎないように、インペラのトルクまたはホッパロードセル出力の変化を使用して、インペラが床の中へ貫入する速度を制御する。ホッパを動かすのではなく、インペラおよびその駆動を、流れ回路浸漬管とともに、ホッパに対して動かすことができる。研磨剤送出システムを遮断するには、攪拌器が停止され、ホッパが下げられて、攪拌器のインペラおよび入口ならびに戻り浸漬管がカバー水中に入る。次いで、研磨剤懸濁液遮断弁が開かれ、研磨剤懸濁液が切斷ヘッドから一掃されて研磨剤懸濁液源の点に戻ることを可能にするための時間遅延後、弁が閉じられ、カバー水が流れ回路を循環して回路から研磨剤を洗い流すことを可能にするためのさらなる期間後、循環ポンプが停止される。

40

【0100】

流れ回路から研磨剤懸濁液を一掃することは、流れ回路内の接合部に連結された加圧流体源によって実施することができるが、当業者には理解されよう。そのような接合連結部は、研磨剤懸濁液の脱水が生じるはずの箇所であり、研磨剤懸濁液流れ回路の動作中に問題を引き起こす可能性があり、そのため入口および戻り浸漬管をホッパカバー水中に

50

再配置することができることは、好ましい選択肢である。流れ回路弁およびポンプのプログラムされた動作とともに、切断ヘッドで連結された変位流体源を使用して、研磨剤混合物を流れ回路から洗い流すこともできる。

【0101】

以下、本発明の異なる態様について、異なる態様の可能な組合せとともに概説する。

【0102】

第1の態様では、研磨剤ウォータージェット装置の切断ヘッドに研磨剤懸濁液送出配置が提供され、この切断ヘッド内で高速ウォータージェットが研磨剤懸濁液を集束管内へ同伴し、集束管出口で切断ジェットを放出し、前記研磨剤懸濁液送出配置は、

点の研磨剤懸濁液源と、

10

入口端部がその点で研磨剤懸濁液源に連結され、出口端部で切断ヘッドに連結された導管と、

前記導管内の研磨剤懸濁液開閉弁と、

切断ヘッドに位置する変位流体源とからなり、

この研磨剤懸濁液送出配置は：

a) 第1の導管の入口端部が研磨剤懸濁液源に連結される点の圧力は、変位流体源の圧力を下回り、

b) 前記導管内の研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、かつ切断ヘッド内に高速ウォータージェットが存在するとき、研磨剤懸濁液は、点の研磨剤懸濁液源から導管を通って切断ヘッドへ流れ、

20

c) 導管内の研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、かつ切断ヘッド内に高速ウォータージェットがないとき、研磨剤懸濁液は、切断ヘッドの変位流体源からの流体によって、その点で前記導管から入口端部の方へ変位されることを特徴とする。

【0103】

第2の態様では、研磨剤懸濁液は、前記第1の導管が研磨剤懸濁液源に連結される点付近で動いている。

【0104】

第3の態様では、態様2における点付近の研磨剤懸濁液の運動は、第2の導管内を研磨剤懸濁液が流れることによって引き起こされ、第1の導管は、第2の導管に点で連結される。

30

【0105】

第4の態様では、態様2における点付近の研磨剤懸濁液の運動は、容器内の攪拌器によって引き起こされ、容器内で、導管1への入口が点で連結される。

【0106】

第5の態様では、前記研磨剤懸濁液開閉弁向けのアクチュエータを有する第1の態様の研磨剤懸濁液送出配置が提供され、このアクチュエータは、

a) 切断ヘッド内に高速ウォータージェットが存在するときは、切断ヘッドへの研磨剤懸濁液の流れを開始および停止させ、

b) 切断ヘッド内に高速ウォータージェットがないときは、研磨剤懸濁液開閉弁を開いて、変位流体が切断ヘッドで導管1に入り、研磨剤懸濁液源の点の方へ流れて第1の導管の一部またはすべてから研磨剤懸濁液を一掃することを可能にするように、研磨剤ウォータージェット装置の制御システムによって制御される。

40

【0107】

第6の態様では、第5の態様の制御システムは、導管内で流れが停滞している期間後、次にウォータージェットが切断ヘッド内に存在し、かつ研磨剤懸濁液開閉弁が開いているとき、研磨剤懸濁液の流動学的特性が変化して導管または切断ヘッド内に流れの閉塞が形成される前に、ある期間にわたって第1の態様の研磨剤懸濁液開閉弁を開いて、研磨剤懸濁液を第1の導管から変位することを可能にするようにプログラムされる。

【0108】

第7の態様では、第1の態様に記載の研磨剤送出配置が提供され、変位流体源は、集束

50

管出口の周囲の流体である。

【0109】

第8の態様では、第1の態様に記載の研磨剤送出配置が提供され、弁付きの変位流体源が、弁付きの連結部を介して切断ヘッドに連結され、したがって、切断ヘッド内にウォータージェットが存在しないとき、変位流体源弁を開き、かつ第1の導管内の研磨剤懸濁液開閉弁を開くことで、研磨剤懸濁液を導管から研磨剤懸濁液源の点の方へ変位させる。

【0110】

第9の態様では、第1の態様に記載の研磨剤送出配置が提供され、変位流体源が、弁付きの連結部を介して切断ヘッドに連結され、したがって、切断ヘッド内にウォータージェットが存在するとき、変位流体源への弁を開くことで、変位流体が切断ヘッドへ流れてウォータージェットによって同伴される。

【0111】

第10の態様では、研磨剤ウォータージェット装置の一部を形成する第1の態様の切断ヘッドの同伴チャンバへの研磨剤懸濁液送出配置が提供され、前記切断ヘッド内で、高速ウォータージェットがチャンバを横切って、研磨剤懸濁液送出システムからチャンバ内および集束管内へ研磨剤懸濁液を同伴し、切断ヘッド出口で研磨剤切断ジェットを生じさせ、前記研磨剤懸濁液送出配置は、

研磨剤懸濁液源と、

入口端部が点で前記研磨剤懸濁液源に連結され、出口端部が切断ヘッド同伴チャンバに連結された導管と、

前記導管内の研磨剤懸濁液開閉弁と、

集束管出口に位置する周囲環境からの変位流体源、または同伴チャンバに連結された弁付きの変位流体源、または研磨剤懸濁液開閉弁と切断ヘッド同伴チャンバとの間で前記第1の導管に連結された弁付きの変位流体源とからなり、

この研磨剤懸濁液送出配置は：

d) 導管が研磨剤懸濁液源に連結される点で圧力が大気圧を下回り、

e) 第1の導管内の研磨剤懸濁液弁が開いており、かつ切断ヘッド内に高速ウォータージェットが存在するとき、ならびに弁付きの変位流体源が存在し、かつ変位流体弁が閉じている場合、研磨剤懸濁液は、点の研磨剤懸濁液源から導管を通って切断ヘッド同伴チャンバへ流れ、

f) 導管内の研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、かつ切断ヘッド内に高速ウォータージェットがないとき、研磨剤懸濁液は、同伴チャンバおよび導管から変位流体によって変位され、この変位流体は：

i) 集束管出口で周囲から集束管出口に入り、集束管、同伴チャンバ、および導管を介して点で研磨剤懸濁液源の方へ流れ、

または

ii) 開いた流体変位弁を介して同伴チャンバに入り、導管を介して点の研磨剤懸濁液源の方へ流れ、集束管を介して環境へ流れ、

または

iii) 開いた流体変位弁を介して、導管内で研磨剤懸濁液開閉弁と切断ヘッド同伴チャンバとの間に位置する接合部へ流れ、導管内で点の研磨剤懸濁液源の方へ流れ、同伴チャンバの方へ集束管を介して環境へ流れ、

g) 変位流体弁が開いており、かつ研磨剤懸濁液開閉弁が開いており、ならびに変位流体の圧力が研磨剤懸濁液源の点の圧力以上であるとき、変位流体は高速ウォータージェット中へ同伴されることを特徴とする。

【0112】

第11の態様では、第1の態様に記載の同伴切断ヘッド (entainment cutting head) への研磨剤懸濁液送出配置が提供され、研磨剤懸濁液源の点は、第1の態様の第1の導管と第2の導管との間の接続点にあり、第2の導管では、研磨剤懸濁液の流量は、接続点から第1の導管を通って切断ヘッドへ流れるのに必要とされる流

10

20

30

40

50

量より実質上大きい。

【0113】

第12の態様では、第11の態様の第2の導管は、入口端部および出口端部で研磨剤懸濁液ホッパに連結された流れ回路を形成し、この流れ回路には、態様1の第1の導管への接続点と、研磨剤懸濁液を前記第1の導管内に流すポンプとがある。

【0114】

第13の態様では、第12の態様の研磨剤懸濁液流れ回路は、第2の導管内で第1の導管との接続点の下流にポンプを含む。

【0115】

第14の態様では、第12の態様の研磨剤懸濁液流れ回路は、第2の導管内で第1の導管への接続点の上流に位置する可変絞りを含む。 10

【0116】

第15の態様では、第14の態様の可変絞りは、好ましくは、可撓性の配管に作用して圧力降下を引き起こし、第1の導管と第2の導管の接続点の圧力を下げるアクチュエータによって提供される。

【0117】

第16の態様では、第13の態様のポンプは、好ましくは、可变速駆動を有する蠕動ポンプである。

【0118】

第17の態様では、感圧デバイスが、第11の態様の第2の導管内で第1の導管点との接合付近の圧力を監視し、信号を研磨剤ウォータージェット装置の制御システムへ提供し、第15の態様の可変減圧絞り(variable pressure reducing restriction)および第13の態様のポンプの速度を設定して、第1の導管と第2の導管との間の接続点の圧力を制御するように作用する。 20

【0119】

第18の態様では、第12の態様の研磨剤懸濁液循環回路は、流れ回路の一部として攪拌された研磨剤懸濁液ホッパを含む。

【0120】

第19の態様では、第18の態様の攪拌された研磨剤懸濁液容器は、

a) ホッパと、 30

b) 攪拌器と、

c) 流れ回路への入口と、

d) 流れ回路からの復路と、

e) 研磨粒子床と、

f) 研磨粒子床の上のカバー水とからなり、

この攪拌された研磨剤懸濁液容器は、

a) ホッパは、攪拌された研磨粒子床を床の上のカバー水の深さで維持することを有効にする寸法を有し、したがってカバー水の表面が本質的に静止しており、

b) 流れ回路への入口連結部は、攪拌された研磨剤床内で、研磨剤濃度が切斷ヘッドで必要とされる濃度である場所に位置することを特徴とする。 40

【0121】

第20の態様では、第12の態様の研磨剤懸濁液容器内へ直接、または第1の導管と第2の導管が交わる点の下流かつ第13の態様のポンプの上流で第11の態様の第2の導管内へ、水が送出される。

【0122】

第21の態様では、第19の態様のホッパは排水路を有する。

【0123】

第22の態様では、第19の態様のホッパは重量センサ上に取り付けられ、ホッパ内の研磨剤の量の監視を可能にする。

【0124】

10

20

30

40

50

第23の態様では、研磨剤床内の場所とカバー水内の場所との間で第19の態様の搅拌器を動かす手段が提供される。

【0125】

第24の態様では、研磨剤床内の場所とカバー水内の場所との間で第12の態様の流れ回路への入口を動かす手段が提供される。

【0126】

第25の態様では、第19の態様のホッパの水面の表面の上に、乾燥研磨粒子源が提供される。

【0127】

第26の態様では、第22の態様の重量センサからの信号を使用して、第25の態様の研磨粒子源からの研磨粒子を第19の態様のホッパの表面の水の上へ放出させる制御システムが提供される。 10

【0128】

第27の態様では、第19の態様の搅拌器は、可变速モータによって駆動され、搅拌器にかかるトルクの信号を提供する。

【0129】

第28の態様では、

a) 第19の態様の流れ回路への入口がカバー水内に位置決めされた状態で第13の態様のポンプを起動し、

b) 第19の態様の搅拌器がカバー水内に位置決めされた状態で搅拌器を起動し、 20

c) 搅拌器にかかるトルクを設定値に制限し、または第15の態様の重量センサにかかる負荷変化を所定の値に制限することによって決定された速度で、流れ回路への入口および搅拌器の位置をホッパ内の研磨剤床内へ変えることによって、研磨剤送出システムを自動的に起動することができる制御システムが提供およびプログラムされる。

【0130】

第29の態様では、研磨剤送出システムを自動的に再起動させることができるように状態で研磨剤送出システムを自動的に遮断する制御システムが提供およびプログラムされ、この遮断手順は、

a) 搅拌を停止させる工程と、

b) 搅拌器および流れ回路への入口の位置をカバー水内へ変える工程と、 30

c) 第1の態様の研磨剤懸濁液開閉弁を開いて第1の態様の導管から研磨剤を一掃し、それに続いて懸濁液開閉弁を閉じる工程と、

d) 流れ回路から研磨剤を一掃するのに十分な期間後、第13の態様のポンプを停止する工程とを含む。

【0131】

第30の態様では、研磨剤懸濁液は、その流動学的特性を修正する添加剤を含有することができる。

【0132】

本発明のさらなる特性および利点について、添付の図を参照しながら次に説明する。

【図面の簡単な説明】

40

【0133】

【図1】同伴切断ヘッドを示す図である。

【図2】切断ヘッド向けの研磨剤懸濁液送出システムを示す図である。

【図3】切断ヘッド向けの研磨剤懸濁液送出システムを示す図である。

【図4】研磨剤懸濁液ホッパを示す図である。

【図5】研磨剤懸濁液送出システムの一部を示す図である。

【図6】研磨剤懸濁液送出システムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0134】

図1を第1に参照すると、図1は、切断ジェット108を生成する切断ヘッド14を示

50

す。源 15 からの加圧水が、加圧水遮断弁 110 および視準管 102 を介してウォータージェットノズル 103 へ流れ、高速ウォータージェット 104 を生じさせる。ウォータージェット 104 は、同伴チャンバ 105 を横切り、集束管 107 の孔 106 に入る。同伴チャンバ 105 を横切る際、ウォータージェット 104 は、源 100 から導管 19 を通ってきた研磨剤懸濁液を同伴する。この研磨剤懸濁液は、研磨剤懸濁液開閉弁 13 によって通路 111 へ進み、同伴チャンバ 105 および集束管孔 106 に入る。集束管孔 106 内では、ウォータージェット 104 と研磨剤懸濁液中の研磨粒子および水との間で運動量が交換され、集束管出口 118 で切断ジェット 108 が生成される。

【0135】

弁 17、配管 117、および通路 112 を通って同伴チャンバ 105 へ、大気圧を上回る変位流体源 16 を設けることができ、または弁 18 を通って研磨剤懸濁液開閉弁 13 と切断ヘッド通路 111 との間の導管 19 へ、変位流体源 16 を設けることができる。通常、変位流体は水であるが、状況によっては加圧空気が好ましいことがある。

【0136】

EP 2097223 B1 および WO 2011/070154 A1 に記載されている切断ヘッドで効果的に切断するには、切断ジェット 108 中で所望の研磨剤濃度を実現するために、源 100 からの研磨剤懸濁液の圧力を、大気圧を下回る圧力にする必要がある。加圧水遮断弁 110 が閉じてあり、かつ研磨剤懸濁液開閉弁 13 が開いている場合、ならびに別個の変位流体源 16 が設けられていない場合、または弁 17 および 18 が閉じている場合、118 の周囲の流体は、集束管孔 106 内に引き込まれる。水が引き込まれるときに集束管 107 が浸漬されていない限り、118 から引き込まれる周囲の流体は空気である。集束管孔 106 内へ引き込まれた流体は、同伴チャンバ 105、通路 111、および導管 19 を通って研磨剤懸濁液源 100 の方へ流れる。

【0137】

加圧水遮断弁 110 が閉じてあり、かつ研磨剤懸濁液開閉弁 13 が開いており、ならびに弁 17 または弁 18 のいずれかが開いている状態で、源 16 からの変位流体は、研磨剤懸濁液源 100 の方へ流れる。加圧された変位流体が弁 17 を通って流れる場合、この変位流体は、配管 117、通路 112、同伴チャンバ 105、通路 111、および導管 19 を通過し、研磨剤懸濁液開閉弁 13 は、研磨剤懸濁液を研磨剤懸濁液源 100 の方へ変位させる。同伴チャンバ 105 を通過する際、変位流体の一部はまた、集束管孔 106 を通つて流れ、集束管出口 118 で放出される。源 16 からの変位流体が弁 18 を通って導管 19 に入ると、この変位流体は、弁 13 を通って研磨剤懸濁液源 100 の方へ流れ、また、通路 111、同伴チャンバ 105、および集束管孔 106 を通つて集束管出口 118 の方へ流れる。

【0138】

加圧水遮断弁 110 および研磨剤懸濁液遮断弁 13 が開いた状態で、研磨剤懸濁液源 100 の圧力を上回る圧力の変位流体源 16 への弁 17 または弁 18 のいずれかが開いている場合、源 16 からの変位流体は、ウォータージェット 104 によって同伴される。変位流体はまた、研磨剤懸濁液源 100 の方へも流れる。

【0139】

加圧水遮断弁 110 が開いており、かつ研磨剤懸濁液遮断弁 13 が閉じてあり、ならびに変位流体弁 17 または 18 が開いている状態で、源 16 からの変位水の流れを変動させて、集束管 107 の出口 118 におけるウォータージェットの特性を変化させることができる。源 16 から流れる水の量によって、集束管 107 の出口 118 付近の加工物上の空洞現象の強度を増大または低減させることができる。空洞現象の強度を変動させる能力は、加工物の表面をマーキングおよびエッチングする際に有用になる可能性がある。

【0140】

研磨剤ウォータージェット 104 が研磨剤懸濁液を同伴しているとき、源 16 から弁 17 または 18 を通つて流れる変位水を計量することによって、切断ジェット 108 中の研磨剤の濃度を低減させることができる。弁 17 を通つて流れる変位水が計量される場合、工

10

20

30

40

50

ツチングおよびミリング中の材料除去の制御を提供するために、切断ジェット 108 中の研磨剤濃度の急速な変化が可能である。

【0141】

図 2 を次に参照すると、図 2 は、同伴切断ヘッド 14 向けの研磨剤懸濁液送出回路 1 を示す。ホッパ 2 は、スターラ 5 を備える搅拌器 3 を有し、典型的には 60 ~ 70 重量 % の研磨剤含有率を有する研磨剤 / 水混合物 4 で部分的に充填される。ホッパ 2 には、源 10 からポンプ 22 および導管 9 を通って流れる研磨剤懸濁液が注入される。ポンプ 22 は、通常は可逆性の蠕動ポンプであり、導管 9 を通ってホッパ 2 との間で研磨剤懸濁液 4 を伝達する。ホッパ 2 は環境から封止され、空気空間 20 が導管 23 を介して真空源 21 に連結される。

10

【0142】

研磨剤懸濁液 4 は、点 7 で研磨剤懸濁液開閉弁 13 を有する導管 19 に入る。弁 110 が加圧水源 15 に開いており、かつ弁 13 が開いている状態で、切断ヘッド 14 内のウォータージェット 104 は、7 でホッパ 2 から導管 19 を介して切断ヘッド 14 の同伴チャンバ 104 へ研磨剤懸濁液を同伴する。研磨剤懸濁液の流量は、点 7 における研磨剤懸濁液の流動学的特性、点 7 と同伴チャンバ 104 との間の流れラインの圧力損失特性、および点 7 と同伴チャンバ 104 との間の差圧に依存する。点 7 の圧力は、真空源 21 によって制御される。したがって、この例示的な実施形態では、点 7 は、研磨剤懸濁液源と見なすことができ、導管 19 を介して切断ヘッド 14 と流体連通するように配置することができる。

20

【0143】

弁 17 を介して切断ヘッド 14 の同伴チャンバ 105 に、または弁 18 を介して導管 19 に、変位流体源 16 を連結することができる。

【0144】

加圧水弁 110 が閉じている状態で、研磨剤懸濁液遮断弁 13 が開いており、かつ弁 18 または 17 が大気圧を上回る圧力の変位流体源 16 に対して開いているとき、導管 19 から研磨剤懸濁液を出して本質的に空にすることができる。また、変位流体の一部は、集束管 107 を通って流れる。

【0145】

変位流体源 16 が設けられていないとき、または存在する場合、弁 17 もしくは 18 が閉じているとき、弁 110 が閉じてあり、かつ弁 13 が開いており、ならびにホッパ 2 内の空間 20 内に真空があるとき、集束管 107 の出口 118 で、環境からの変位流体が集束管に入る。変位流体が水であるときに集束管 107 の出口が水中に浸漬されていない限り、変位流体は空気である。変位流体は、導管 19 を通って流れ、点 7 でホッパ 2 内へ放出される。

30

【0146】

点 7 でホッパ 2 に入った変位空気は、泡立って研磨剤懸濁液 4 を通り、導管 23 を通つて排気される。真空源 21 がポンピングしなければならない空気の量を制限するために、弁 13 は、望ましくは、研磨剤懸濁液を導管 19 から一掃できるのに十分な時間だけ開くように予定される。変位流体が水であるとき、容器 2 内の研磨剤懸濁液 4 中の研磨剤濃度を変化させないように、弁 13 は、望ましくは、変位水が導管 19 から研磨剤懸濁液を一掃するのに十分な時間だけ開くように予定される。

40

【0147】

導管 19 から研磨剤懸濁液を最初に一掃した後、点 7 から導管 19 に入つて移動および脱水する研磨剤を洗い流すための弁 13 の周期的な開閉をプログラムしないで、弁 13 は点 7 で導管 19 に位置することができる。

【0148】

研磨剤懸濁液の特性および添加剤の添加に応じて、ホッパ 2 内の研磨剤懸濁液 4 は、搅拌器 3 およびスターラ 5 のなしで、適した状態で維持することができる。その代わりに、研磨剤懸濁液 4 を切断ヘッド 14 へ供給するのに十分な研磨剤懸濁液 4 をホッパ 2 内で維

50

持しながら、研磨剤懸濁液4がポンプ22によってホッパ2との間で周期的にポンピングされるような配置にすることができる。

【0149】

図3を次に参照すると、図3は、研磨剤懸濁液送出システム30を示し、切断ヘッドによって必要とされる量より実質上多くの研磨剤懸濁液が流れ回路内でポンピングされて切断ヘッド14付近を通過する。流れ回路は、入口77および可変流量絞り31を有する導管6、導管8、点7の接合部、導管32、ポンプ33、ならびにホッパ2内で流れ回路からの出口35を有する導管34によって形成される。この例示的な実施形態では、接続点7は、研磨剤懸濁液源と見なすことができ、導管19を介して切断ヘッド14と流体連通するように配置することができる。

10

【0150】

流れ回路内の流れ方向を逆にすることことができ、したがって接合部7の圧力は、ホッパ2内の表面23に作用する圧力を上回ったり、下回ったりすることができる。流れ方向を逆にすることは、流れ回路内で閉塞が生じた場合に必要になることがある。

【0151】

接続点7の圧力は、ポンプ33の速度の変動、絞り31の設定、切断ヘッド14に対するホッパ2内の研磨剤懸濁液の表面レベル23、および表面23に作用する空気空間20内の圧力によって制御される。空気空間20内の圧力は、導管11を通じて連結される空気源の圧力24であり、好ましくは大気圧である。

20

【0152】

接続点7付近に位置する圧力センサ18が、接続点7の圧力を設定するための信号を提供する。

【0153】

図3のホッパ2の動作は、弁13、17、および18の機能に関して、図2のホッパ2の場合とほぼ同様である。

【0154】

図4を次に参照すると、図4は研磨剤懸濁液送出システム70の一部を示し、研磨剤懸濁液送出システム70の一部は、図5の研磨剤懸濁液送出システム40の一部とともに、完全な研磨剤懸濁液送出システムを形成する。

30

【0155】

図4は、懸濁研磨剤床72の上にカバー水層73が設けられることを示す。インペラ50を有する攪拌器51が、床72をかき混ぜるように適合される。ロードセル25を備える重量センサ55が、ホッパ71に取り付けられており、負荷の変化に応じて垂直方向に可動である（両方向の矢印56）。この垂直運動は、乾燥研磨剤の粉末粒子を添加するために、または起動中にインペラ50が床72内へ下がる速度を制御するために、制御システム（図示せず）への出力として使用することができる。

【0156】

乾燥研磨剤の粉末粒子は、ホルダ61内に取り付けられたサイロ60内に収容される。粉末が放出されときは、放出パイプ63内の弁69が開かれ、振動子62が作動されてホルダ61に振動を提供し、それによって粉末粒子は、カバー水73の表面54に落ち、密度流中を攪拌された研磨剤床72まで、カバー水73と混合することなく下降する。水源64から連結部65を通ってくる水は、制御された速度および適切な場所で研磨剤床72内へ抜くことができ、研磨剤懸濁液が床72から抜き出される入口77で所望の研磨剤濃度を維持するのに役立つことができる。

40

【0157】

図4はまた、ホッパ71の上部部分に位置する排水路52を示す。床72を通って上へ流れる余分な水は、設定された水レベルを維持するようにカバー水の表面54で排水され、それによってホッパ71内の研磨剤の重量の連続計算を可能にし、濡れずにカバー水の表面54上に浮遊している研磨剤送出物中の材料を運び去る。

【0158】

50

図5を次に参照すると、図5は、図3の研磨剤懸濁液送出システム30の一部を示すが、追加の特性を有しており、したがって研磨剤懸濁液送出システム30は、図4の研磨剤懸濁液ホッパ71とともに使用するのに特に適している。

#### 【0159】

導管19を通って切断ヘッド14へ進む流れがないとき、接続点7で研磨剤の蓄積および脱水を防止するために、図3の研磨剤懸濁液弁13は、接続点7に位置する弁45に置き換えられる。

#### 【0160】

図4のホッパ71が動作しているとき、ホッパ71は、カバー水レベル54を維持するための注入水の流れを必要とする。注入水は、ポンプ33への入口の研磨剤濃度を低減させるために、導管32内へ流れることが有益である。

10

#### 【0161】

400mmHgを下回る可能性がある研磨剤懸濁液の真空圧力の直接測定は、圧力ゲージまたは圧力変換器への連結部およびそれらの空間内に研磨剤が蓄積するため、困難である。導管32に入る注入水の圧力を測定することによって、研磨剤懸濁液を圧力変換器に直接接触させることなく、接続点7の圧力を推論することができる。源47からの注入水は、弁46、導管39を通って逆止め弁48まで流れ、逆止め弁48は、研磨剤懸濁液が導管32から導管39に入るのを防止する。逆止め弁48は、ダックビル式とすることができます、または圧力降下の小さいポリマー材料から作られた類似の弁とすることができます。圧力センサ49が、導管39内の圧力を測定する。この圧力は本質的に、切断ヘッド14への研磨剤懸濁液の流量を制御する接続点7の圧力である。

20

#### 【0162】

研磨剤濃度の測定値を提供するために、導管44の1区間内の研磨剤懸濁液の重量を判定することができる。導管44は、可撓性の接合部41および42によって導管8に取り付けられる。導管44を通る水の流れと研磨剤懸濁液の流れとの間の重量の変化を判定するためにロードセル43が使用され、それによって懸濁液の密度の計算が可能になる。

#### 【0163】

図3～5では、1つの切断ヘッド14が絞り31とポンプ33との間で流れ回路8、32に連結されているが、研磨剤ウォータージェット切断装置の2つ以上の切断ヘッドを流れ回路8、32に連結することもできる。

30

#### 【0164】

図6を参照すると、図6は、図1の送出システム1および図4のホッパ71の特性を有する懸濁液送出システム80を示す。乾燥研磨剤の粉末のサイロ81がホッパ89に連結されており、図4のホッパ71への注入と同様であるが、カバー水73の上の空気空間20内に真空を有する状態で、乾燥研磨剤の粉末83をホッパ89に注入することができる。サイロ81は、封止可能な蓋82を有し、研磨剤の粉末83でサイロ81を充填することを可能にする。隔壁弁85を有する導管86により、サイロ81内の空気空間90内の圧力を、真空源21によって導管23を通って提供されるホッパ89内の空気空間20内の圧力と等しくすることが可能になる。空気空間20および90内の圧力が等しくなったとき、粉末弁87が開かれる。粉末弁87が開いている状態で、振動子62を作動させることで、研磨剤の粉末83はサイロ81から連結部88を通って流れ、カバー水73の表面54上に落ちる。

40

#### 【0165】

弁85および87が閉じており、かつ弁84が開いている状態で、封止可能な蓋82全体の圧力は等しく、蓋82を開けてサイロ81に研磨剤の粉末83を注入することができる。

#### 【0166】

研磨剤床72が沈殿するのに十分なほど長い期間にわたってスターラ5の回転を停止させると、床72の大部分は、ポンプ10によって、93に入口を有する導管92を通して収納源91へ取り出すことができる。別法として、源91から床72内へ、または他の

50

手段によって、研磨粒子が堅く沈殿するのを防止する添加剤を導入して、余分なトルクを  
使うことなく、沈殿した床 7 2 の中でスター ラ 5 が回転を開始することを可能にすること  
ができる。

【 0 1 6 7 】

ロードセル 25 からの出力とともにレベルセンサ 94 からの信号を使用して、水源 96 から連結部 97 を通ってくるカバー水レベル 54 を維持し、サイロ 81 から研磨剤床 72 への研磨剤の注入を制御することができる。

【 0 1 6 8 】

機械加工向けの研磨剤ウォータージェット装置は、機械ツールの一部を形成する。機械ツールは高度に自動化する必要があり、これは研磨剤送出システムを含む。バルクホッパに乾燥研磨剤の粉末を充填することを除いて、研磨剤懸濁液送出システムのすべての機能は、機械ツール制御システムによって研磨剤ウォータージェット装置の制御システムを通じて自動化および制御する必要がある。自動化は、切断ヘッド付近で指定の濃度の研磨剤懸濁液を利用可能にする起動動作を開始することから、後日システムの自動化された起動を可能にするような状態で長期間にわたって送出システムを遮断することにまで及ぶ。図4および図5に示す本発明の好ましい研磨剤懸濁液送出システムの実施形態は、自動化された動作に特に適している。

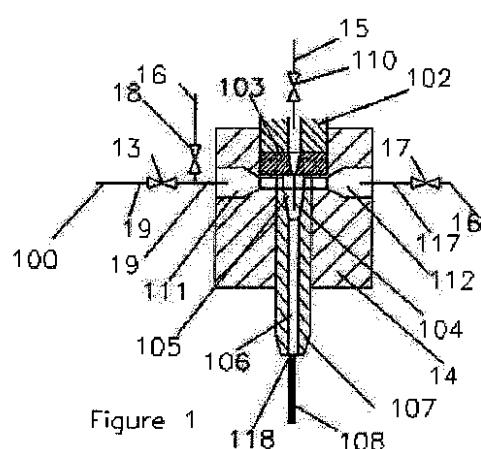
10

( 0 1 6 9 )

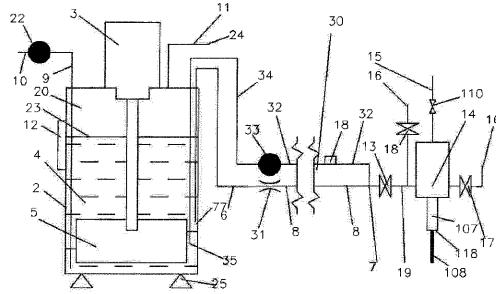
完全な自動化の例外は、研磨粒子のわずらわしい沈殿が生じるのに十分なほど長い期間にわたって電力が損失した場合であり、このときは、送出システムを再起動する際に閉塞を防止するために、加圧水または圧縮空気源を使用して配管および通路から研磨剤懸濁液を一掃する手動介入が必要とされる。研磨剤送出システムの配管は、電力の損失後に流れ回路から研磨剤懸濁液を洗い流すために蠕動ポンプが容易なアクセスを可能にするための配管を含む迅速に連結および連結解除できる連結部を有するように配置される。

20

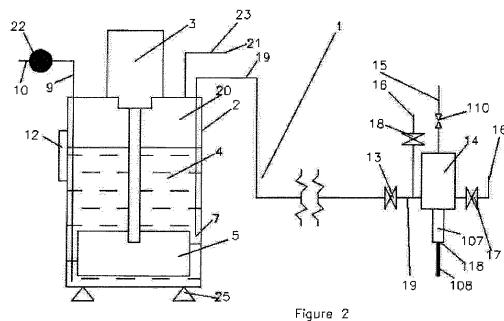
【 図 1 】



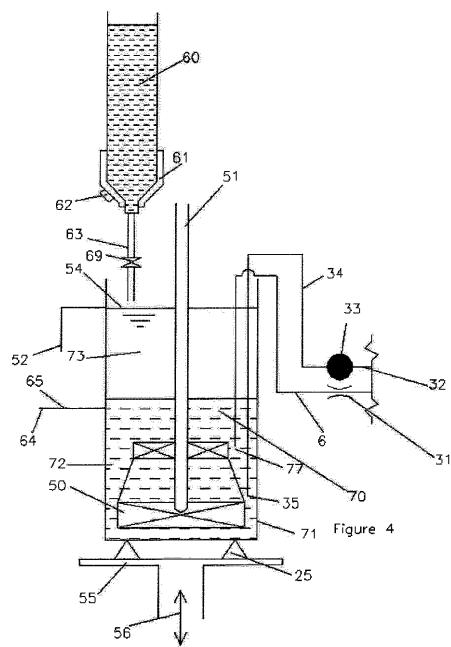
【圖3】



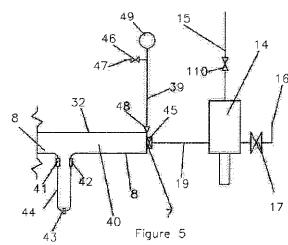
( 义 2 )



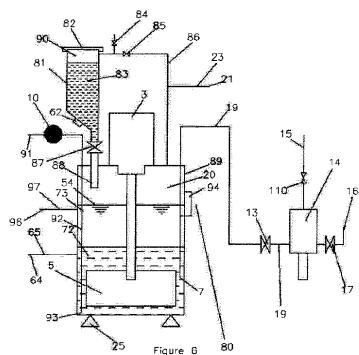
【 四 4 】



【 义 5 】



【図6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平07-001338(JP, A)  
特表昭63-501489(JP, A)  
特表平11-505457(JP, A)  
実開平02-063963(JP, U)  
欧州特許出願公開第00530154(EP, A2)  
欧州特許第02097223(EP, B1)  
国際公開第2011/070154(WO, A1)  
米国特許第04872293(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B24C5/02

B24C7/00