(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6179933号
(P6179933)
(45)発行日　平成29年8月16日(2017.8.16)　(24)登録日　平成29年7月28日(2017.7.28)

(51)Int.Cl.　　F I
B24B 31/00 (2006.01)　　B24B 31/00　C
B24B 19/14 (2006.01)　　B24B 19/14

請求項の数 14　外国語出願　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願2013-21852(P2013-21852)
(22)出願日　平成25年2月7日(2013.2.7)
(65)公開番号　特開2013-166236(P2013-166236A)
(43)公開日　平成25年8月29日(2013.8.29)
審査請求日　平成28年1月29日(2016.1.29)
(31)優先権主張番号　13/396,908
(32)優先日　平成24年2月15日(2012.2.15)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州　１２３４５、スケネクタデイ、リバーロード、１番
(74)代理人　100137545
弁理士　荒川　聡志
(74)代理人　100105588
弁理士　小倉　博
(74)代理人　100129779
弁理士　黒川　俊久
(74)代理人　100113974
弁理士　田中　拓人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】表面仕上げが改善されたチタンアルミナイド物品

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くための方法であって、
チタンアルミナイド系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含むチタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、
高圧下の流体を７から１２度までの配向角度の範囲内で前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、
を含み、
前記流体が前記物品の前記表面の端から端まで通過する前に、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子が前記流体中に懸濁され、
前記方法は、さらに、
前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、
前記チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くことと
を含み、
前記チタンアルミナイド合金含有物品の前記表面から、前記物品の表面にひびを入れたり、損傷したりすることなく、凹凸および点食を取り除く
方法。
【請求項２】
高圧下の流体が出てくるノズルの運動は、回転運動、平行移動、振動、またはこれらの組み合わせからなる群から選択される請求項１記載の方法。

【請求項３】
前記流体の固形物負荷は、質量流量で約１０％から約４０％までの範囲内である請求項１又は２記載の方法。
【請求項４】
前記流体は、毎分約２インチから毎分約１００インチまでの速さで前記チタンアルミナイド合金含有物品の前記表面上を通過する請求項１乃至３のいずれか１項記載の方法。
【請求項５】
チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変えるための方法であって、
構造物上の、チタンアルミナイド系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含む前記チタンアルミナイド合金含有物品を固定することと、
流体を７から１２度までの配向角度の範囲内で前記固定されたチタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで高い直線速度で通過させることと、
を含み、
前記流体が前記物品の前記表面の端から端まで通過する前に、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子が前記流体中に懸濁され、
前記方法は、さらに、
チタンアルミナイド系γ相と前記チタンアルミナイド合金のα２（Ti_3Al）相の両方を変形すること
を含み、
前記チタンアルミナイド合金含有物品の前記表面から材料が取り除かれ、それにより、前記物品の表面にひびを入れたり損傷したりすることなく前記物品の前記表面を変える
方法。

【請求項６】
高圧下の前記流体は、前記物品の前記表面上で１平方インチ当たり約５０００から約１０，０００ポンドまでの範囲内である、請求項５記載の方法。
【請求項７】
前記高い直線速度は、毎分約５インチから毎分約１０００インチまでの速さである、請求項５又は６記載の方法。
【請求項８】
前記流体は高圧下にあり、前記流体が前記チタンアルミナイド合金含有物品の前記表面の端から端までの通過が、前記物品の前記表面を、前記物品の前記表面から、また垂直に前記物品内に約１００ミクロン未満の深さにわたって変形させる、請求項５乃至７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項９】
前記チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードである、請求項５乃至８のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１０】
前記流体は高圧下にあり、アルミナ、ザクロ石、シリカ、炭化ケイ素、炭化ホウ素、ダイヤモンド、炭化タングステン、およびこれらの組成物のうち少なくとも１つの粒子をさらに含む請求項５乃至９のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１１】
前記流体は、水、油、グリコール、アルコール、またはこれらの組み合わせからなる群から選択される請求項５乃至１０のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１２】
前記流体の固形物負荷は、質量で約１０％から約４０％までの範囲内である請求項５乃至１１のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１３】
物品の表面を機械加工するための方法であって、
チタンアルミナイド系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含むチタンアルミナイド合

金含有物品を用意することと、
高圧下で流体を７から１２度までの配向角度の範囲内で前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、
を含み、
前記流体が前記物品の前記表面の端から端まで通過する前に、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子が前記流体中に懸濁され、
前記方法は、さらに、
前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、
前記チタンアルミナイド合金含有物品の前記表面から前記物品の表面にひびを入れたり損傷したりすることなく材料を取り除くことと
を含む方法。
【請求項１４】
チタンアルミナイド合金含有タービンブレードの凸状表面からオーバーストック材料を取り除くための方法であって、
チタンアルミナイド系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含む チタンアルミナイド合金含有タービンブレードの凸状表面の端から端まで、７から１２度までの配向角度の範囲内で流体を高圧で通過させること
を含み、
前記流体が前記ブレードの前記凸状表面の端から端まで通過する前に、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子が前記流体中に懸濁され、
前記方法は、さらに、
前記チタンアルミナイド合金含有タービンブレードの前記凸状表面からオーバーストック材料を約０．０２５ｍｍから約５．０ｍｍ、前記物品の表面にひびを入れたり損傷したりすることなく取り除くこととを含む方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、チタンアルミナイド合金含有物品の加工方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
現代的なガスタービン、特に航空エンジンは、信頼性、重量、出力、経済性、および稼働耐用年数に関する最高の要求条件を満たさなければならない。航空エンジンの開発では、材料の選択、新しい好適な材料の探索、さらには新しい生産方法の探索が、とりわけ、標準を満たし、要求に応えるうえで重要な役割を果たす。
【０００３】
航空エンジンまたは他のガスタービンに使用される材料としては、チタン合金、ニッケル合金（超合金とも称される）、および高張力鋼が挙げられる。チタン合金は、一般的に、圧縮機部分に使用され、ニッケル合金は、航空エンジンの高温部分に適しており、高張力鋼は、例えば、圧縮機のハウジングおよびタービンのハウジングに使用される。例えば圧縮機用のコンポーネントなどの高負荷または高応力下のガスタービンコンポーネントは、典型的には鍛造品である。その一方で、タービン用のコンポーネントは、典型的には、インベストメント鋳造部品として具現化される。
【０００４】
一般的に、従来のインベストメント鋳型でチタンおよびチタン合金ならびに類似の活性金属をインベストメント鋳造し、良好な結果を得るのは困難であるが、それは、酸素、窒素、および炭素などの元素に対する金属の高親和性によるものである。高温下では、チタンとその合金は、鋳型のフェースコートと反応しうる。溶融した合金と鋳型とが反応する結果、気泡が原因で最終的な鋳造の表面仕上げが悪くなる。いくつかの状況において、気泡は、最終的な鋳造の化学的性質、微細構造、および特性に影響を及ぼす。

【０００５】
最終的なコンポーネントが、鋳造、機械加工、または鍛造によって生産された後、最終的な用途で使用できるように表面仕上げの改善が典型的には必要である。コンポーネントの表面の凹凸およびピットは、タービンブレード用途における空力性能を低下させ、回転または往復部用途における摩耗／摩擦を増大させうる。
【０００６】
チタンアルミナイドのタービンブレードの場合、鋳造されたエーロフォイルは、オーバーサイズに鋳造／鍛造されたダブテール、エーロフォイル、またはシュラウド内に領域を有することがある。これらの薄い金属材料領域を最終寸法に合わせて切削するために、機械的加工（フライス加工もしくは研削）または非機械的な加工（電気化学的加工）が典型的には使用される。しかし、いずれの場合も工具および労力のコストが高く、その結果、製造の遅延が生じる。
【０００７】
さらに、チタンアルミナイド鋳造品を含む合金のひび割れに対する延性および感受性が制限されるため、従来の研削および研磨技術を使用した鋳造品の表面仕上げの改善が妨げられる可能性がある。したがって、改善された表面仕上げを有する航空宇宙用途で使用するための金属間化合物系の物品およびそのような物品を製造するための関連する方法が必要である。
【発明の概要】
【０００８】
本開示の一態様は、チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くための方法である。この方法は、チタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体を前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くこととを含む。一態様では、この方法は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から、物品の表面にひびを入れたり、損傷したりすることなく、凹凸および点食を取り除く。一態様では、本開示は上述のようなプロセスに従って形成されるチタンアルミナイド合金含有物品である。
【０００９】
別の態様では、本開示は、チタンアルミナイド含有タービンブレードの凸状表面からオーバーストック材料（overstock material）を取り除くための方法であり、前記方法は、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードを用意することと、高圧下の流体を前記チタンアルミナイド合金含有タービンブレードの凸状表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド含有タービンブレードの凸状表面からオーバーストック材料を約０．０２５ｍｍから約５．０ｍｍほど取り除くこととを含む。
【００１０】
一実施形態では、高圧下の流体はチタンアルミナイド微細構造と接触する。別の実施形態では、高圧下の流体が出てくるノズルの運動は、回転運動、平行移動、振動、またはこれらの組み合わせからなる群から選択される。一例において、高圧下の流体は、毎分約５インチから毎分約１００インチまでの速さでチタンアルミナイド合金含有物品の表面上を通過する。流体の一例として、水、油、グリコール、アルコール、またはこれらの組み合わせが挙げられる。一例では、流体中に約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子を懸濁してから流体を物品の表面の端から端まで通過させ、流体の固形物負荷は質量流で約１０％から４０％である。一実施形態では、流体は、物品の表面の端から端まで約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子媒体を通過させることと一緒に、またはそれと同時に通過する。別の実施形態では、流体は、物品の表面の端から端まで粒子媒体を通過させることと一緒に、またはそれと同時に通過し、流体は、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子をさらに含む。流体は、一実施形態では、流体を物品の表面の端から端まで通過させる前に室温より高い温度に加熱することができる。
【００１１】

変形ステップは、例えば、チタンアルミナイド合金を可塑変形することを含むものとしてよい。一実施形態では、高圧下の流体がチタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過した後、物品の表面は、物品の表面から垂直に物品内に約１００ミクロン未満の深さにわたって変形する。関係する実施形態では、この深さは、約１０ミクロン未満である。

【００１２】

チタンアルミナイド合金は、一例では、ＴｉＡｌ系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含む。本発明で教示されている方法を実践することによって、物品の表面の粗さを、少なくとも約５０％低減することができる。別の実施形態では、本発明で教示されている方法を実践することによって、物品の表面の粗さが、少なくとも約２５％低減される。

【００１３】

一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期粗さが約１００Ｒａより大きく、物品の表面の粗さは、少なくとも約５０Ｒａに低減される。別の実施形態では、物品の表面の粗さは、少なくとも２０Ｒａに低減される。一実施形態では、高圧下の流体は、毎分少なくとも５インチの直線性の高い流体速度を備える。一実施形態では、直線性の高い速度は、少なくとも毎分５０インチの速度を含む。別の実施形態では、直線性の高い速度は、少なくとも毎分１００インチの速度を含む。さらに別の実施形態では、直線性の高い速度は、少なくとも毎分１０００インチの速度を含む。一例において、高圧下の流体は、毎分約５０インチから毎分約１０００インチまでの速さでチタンアルミナイド合金の表面の端から端まで通過する。

【００１４】

一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有エンジンを含む。別の実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有タービンを含む。一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードを含む。一実施形態では、物品は、ブレードの作動面の少なくとも一部で約２０マイクロインチ未満の平均粗さ（Ｒａ）を有するタービンエンジンブレードである。

【００１５】

一例における高圧下の流体は、アルミナ、ザクロ石、シリカ、炭化ケイ素、炭化ホウ素、ダイヤモンド、炭化タングステン、およびこれらの組成物の粒子をさらに含む。一例では、高圧下の流体は、物品の表面の端から端まで約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子媒体を通過させることと一緒に、またはそれと同時に通過する。別の例では、高圧下の流体は、物品の表面の端から端まで約２０ミクロンから約２００ミクロンまでの範囲の粒子媒体を通過させることと一緒に、またはそれと同時に通過する。別の実施形態では、これらの粒子は、約５０ミクロンから約１５０ミクロンまでとすることができる。

【００１６】

一実施形態では、物品の表面の粗さは、少なくとも２５％低減される。別の実施形態では、物品の表面の粗さは、少なくとも５０％低減される。一実施形態では、表面は、初期粗さが約１００Ｒａより大きく、物品の表面の粗さは、処理後に約５０Ｒａ以下に低減される。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理後に２０Ｒａ以下に低減される。つまり、改善は、物品の表面の粗さを約２０Ｒａ以下に低減することを含む。別の実施形態では、改善は、物品の表面の粗さを約５０Ｒａより大きく低減することを含む。一実施形態では、処理後に、Ｒａ値は、約１／３から約１／６に低減される。特定の一例では、処理後の物品の表面の粗さは、約２ミクロン未満である。別の実施形態では、処理後の物品の表面の粗さは、約１ミクロン未満である。

【００１７】

一例における安定化ステップは、前記チタンアルミナイド合金含有物品を構造物に固定すること、取り付けること、および結合することのうちの１つまたは複数を含む。高圧下の流体および／またはザクロ石などの媒体を含有する小粒子を物品の表面の端から端まで

通過させることは、高圧下の流体および／または媒体をチタンアルミナイド微細構造の相と相互作用させることを含みうる。

【００１８】

本開示の別の態様は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変えるための方法であり、前記方法は構造物上のチタンアルミナイド合金含有物品を安定化することと、流体を前記安定化されたチタンアルミナイド合金物品の表面の端から端まで高い直線速度で通過させることと、チタンアルミナイド系γ相とチタンアルミナイド合金のα２（Ti_3Al）相の両方を変形することとを含み、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除き、それにより、物品の表面を変える。一態様では、本開示は上述のようなプロセスに従って形成されるチタンアルミナイド合金含有物品である。

【００１９】

別の態様では、本開示は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を機械加工するための方法であり、前記方法はチタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体を前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除くこととを含む。

【００２０】

別の態様では、本開示は、チタンアルミナイド合金含有物品からオーバーストック材料を取り除くための方法であり、前記方法はチタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体を前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、物品からオーバーストックを取り除くこととを含み、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から、物品の表面にひびを入れたり、損傷したりすることなく、凹凸および点食を取り除く。

【００２１】

本発明の物品および方法の、これらおよび他の特徴、態様、および利点は、図面全体を通して類似の文字は類似の部分を表す付属の図面を参照しつつ以下の詳細な説明を読むと、よりよく理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【００２２】

【図１】一実施形態によりエーロフォイルに関して位置決めされた流体ジェットノズルの概略斜視図である。この例では、ノズルは、流体ジェットがエーロフォイルなどの物品の凸側と相互作用し、物品の凸側からオーバーストック材料を取り除くように位置決めされる。

【図２】一実施形態による高圧流体ジェット処理の前後の図１からの物品の輪郭を示す概略斜視図である。

【図３】切削されるブレード表面に関するアブレイシブウォータージェットノズルの構成の一例を示す線図である。図１～３は、鋳造チタンアルミナイドブレードの後縁から０．００４”取り除くために使用された設定を示している。

【図４】アブレイシブウォータージェット加工を実行するために使用される雲パターンの空間時間積分を示す概略図である。

【図５】領域１（受け取ったまま）、領域２（例１を使用して生産される）、および領域３（例３を使用して生産される）を示す、アブレイシブウォータージェット切削ブレードの画像を示す図である。

【図６】領域１（受け取ったまま）、領域２（例１を使用して生産される）、および領域３（例３を使用して生産される）のブレード表面および後縁部を示す、アブレイシブウォータージェット切削ブレードの画像を示す図である。

【図７】ブレード後縁の領域１（受け取ったまま）、領域２（例１を使用して生産される）、および領域３（例３を使用して生産される）を示す、アブレイシブウォータージェット切削ブレードの画像を示す図である。材料除去の許容できない管理は、領域３に示されている。

【図８ａ】チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除き、表面を改善するための本開示のいくつかの態様による流れ図である。
【図８ｂ】チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除き、表面を改善するための本開示のいくつかの態様による流れ図である。
【発明を実施するための形態】
【００２３】
本開示は、全体として、改善された表面仕上げを有するチタンおよびチタン合金含有物品、ならびにそのような物品上の表面仕上げを改善するための方法に関するものである。一例では、本開示は、優れた特性を示す改善された表面仕上げを有するタービンブレード、およびそのタービンブレードを生産するための方法に関するものである。
【００２４】
従来のガスおよび蒸気タービンブレードの設計は、典型的には、全体が金属または複合材から作られたエーロフォイル部分を有している。高価なワイドコード中空ブレードを含む、全金属のブレードは、重量が大きく、その結果、燃料性能が低く、頑丈なブレードアタッチメントを必要とする。ガスタービン航空機用途では、高温ガス経路内で動作するガスタービンブレードは、ガスタービン内の最高温度のいくらかに曝される。寿命と性能を高めるために、高温ガス経路内のブレードのさまざまな設計方式が追求されてきた。本明細書で使用されているように、「タービンブレード」という用語は、蒸気タービンブレードとガスタービンブレードの両方を指す。
【００２５】
本出願では、タービンブレードなどのチタンアルミナイド製のコンポーネントの表面の高剪断速度の局所的変形により、表面仕上げの実質的改善が見られ、また性能も改善することができる。一態様では、チタンアルミナイド系の物品などの金属間化合物系の物品に、改善された表面仕上げをもたらす。一実施形態では、鋳造チタンアルミナイド系の物品に高剪断速度表面処理を行い、表面仕上げを２０マイクロインチ（Ｒａ）未満の粗さに改善する。この新しい表面処理により表面仕上げが改善され、しかも、コンポーネントの表面にさらなる損傷またはひび割れをもたらすことはない。
【００２６】
一例では、高速の局所的剪断変形は、表面からコンポーネントの中約１００ミクロン未満の深さにわたって作用する。一実施形態では、高速の局所的剪断変形は、表面からコンポーネントの中約１０ミクロン未満の深さにわたって作用する。物品からオーバーストックを取り除くこの方法は新規性および有用性があり、表面を研磨するために実行するステップと異なる。一例では、物品の表面から材料を取り除くために、高圧下の流体が使用され、流体は、物品の表面の端から端まで通過する。別の例では、高圧下の流体は、約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒径の微粒子を含む媒体とともに使用され、流体と粒子の混合物は、物品の表面の端から端まで通過する。このアプローチの一利点は、フライス加工の場合のように部品を支持するために剛性度の高い、または重い工具を必要としない点である。
【００２７】
表面粗さは、表面のきめの尺度であり、粗さと短縮されることが多い。これは、その計算された平均から実際に表面の垂直方向の偏差によって定量化される。これらの偏差が大きければ、表面は粗く、これらが小さければ、表面は滑らかである。粗さは、典型的には、測定された表面の高周波、短波長成分と考えられる。粗さは、現実の物体がその環境とどのように相互作用するかを判断する際に重要な役割を果たす。例えば、粗い表面は、通常、滑らかな表面に比べて、すぐに摩耗し、高い摩擦係数を有する。
【００２８】
傷、起伏、粗さ、および加工模様は、全体として、表面のきめを構成する特性である。亀裂は、被加工物表面の凹凸形状の意図しない、予期しない、望ましくない中断である。傷は、典型的には、バリ、えぐれ、およびひっかき傷などの孤立した特徴部、および類似の特徴部である。粗さは、被加工物の表面を評価する際の評価の最も細かい解像度での、

高周波(または短波長)の表面のきめの凹凸形状の不規則さを指す。起伏は、被加工物の表面の粗さに比べて波長が長いか、または周波数が低い表面のきめの凹凸形状の不規則さを指す。起伏は、例えば、加工時、工具がカタカタいうとき、および同様の状況で機械または被加工物の振動もしくはたわみから生じうる。

【００２９】

研磨という用語は、結果として被加工物表面の粗さの低減をもたらすことを指す。加工模様は、表面のきめのパターンまたは表面のきめの成分の支配的な方向である。粗さおよび起伏は、特定の被加工物表面上で異なるパターンおよび異なる加工模様を有することができる。

【００３０】

本出願の発明者らは、チタンアルミナイド系物品などの金属間化合物系物品を構成し、これは低減された粗さ、向上させた機械的完全性などの改善された特性を有する表面を持つ。一態様では、本発明の技術は、チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くことを含む。この方法は、チタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体を前記チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、チタンアルミナイド合金含有物品から材料を取り除くこととを含む。この方法を実践することによって、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から、物品の表面にひびを入れたり、損傷したりすることなく、凹凸および点食が取り除かれた。一実施形態では、取り除くことは、表面の粗さを取り除くことと、物品からオーバーストック材料を取り除くこととを含む。一態様では、本開示は上述のようなプロセスに従って形成されるチタンアルミナイド合金含有物品である。

【００３１】

チタン合金は、高い相対的強弱度および優れた耐食性を有し、主に、航空宇宙分野、深海探査分野、化学工場分野などで使用されてきた。チタン合金の一例は、チタンアルミナイドである。チタンアルミナイド合金は、一例では、チタンアルミナイド合金のチタンアルミナイド系のγ相およびα２（Ti_3Al）相を含む。

【００３２】

一技術による変形ステップは、チタンアルミナイド合金を可塑的に変形することを含み、チタンアルミナイド合金の可塑的変形の結果、合金中の相の少なくとも１つは、永久的に、または可逆的に変形される。チタンアルミナイド合金のこの変形は、高圧下の流体を物品の表面の端から端まで通過させ、流体とチタンアルミナイド微細構造との相互作用を引き起こすことによって達成される。この流体は、高い直線速度でコンポーネントの表面の端から端まで通過し、その結果得られる高剪断速度により、局所的表面変形が生じる。一実施形態では、流体が物品の表面の端から端まで通過する前に、アルミナまたはザクロ石などの粒子を含むアブレイシブ媒体が流体中に懸濁される。この混合物の影響は、粒子があってもなくても、表面にひび割れまたは損傷を生じることなく凹凸を除去するために必要な剪断力をもたらす。

【００３３】

一例によるアブレイシブ媒体は、アルミナ、ザクロ石、シリカ、炭化ケイ素、炭化ホウ素、ダイヤモンド、炭化タングステン、およびこれらの組成物のうちの少なくとも１つから選択される。アブレイシブ媒体は、流体のアブレイシブジェットであってもよい。いくつかの実施形態では、流体は流体のアブレイシブ高圧ジェットであり、アルミナ、ザクロ石、シリカ、炭化ケイ素、炭化ホウ素、ダイヤモンド、炭化タングステン、およびこれらの組成物のうちの少なくとも１つをさらに含む。一例では、流体は、水を含む。いくつかの実施形態では、アブレイシブが硬ければ硬いほど、研磨作業はより速く、より効率的になる。アブレイシブ媒体の再利用により、硬いが高価であるアブレイシブを経済的に使用することができ、その結果、研磨および機械加工作業の効率が高まり、必要なときに研磨速度を上げられる。例えば、アルミナまたは炭化ケイ素は、ザクロ石が使用される研磨作業において代用することができる。

【００３４】

４または５軸操作機能と併せたアブレイシブウォータージェットによる研磨は、最終的な部品寸法および必要な表面仕上げに対する正確な要件に適合するように鋳造コンポーネントの幾何学的形状を修正する高速で、効率的で、低コストの手段を実現する。高剪断速度の局所的表面変形は、物品の表面の端から端まで、アブレイシブ媒体があるか、またはない状態で高圧下のノズルから出る流体を通過させることによって行われる。高圧流体が出てくるノズルの運動は、回転運動、平行移動、または振動であるものとしてよい。例えば、このノズルを使用することで、毎分５０インチを超える直線速度を達成することができ、このレベルの速度と５０ミクロンから４００ミクロンまでの粒径範囲のアブレイシブ粒子とを用いることで、オーバーストックを含む材料を、金属間合金粒子の表面から実質的取り除くことができる。一例では、ノズルの速度は、毎分１×１０^{-3}から１０×１０^{-3}インチまでの範囲内である。

【００３５】

一態様では、本開示は、チタンアルミナイド含有タービンブレードの凸状表面からオーバーストック材料を取り除くための方法であり、この方法は、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードを用意することと、高圧下の流体をチタンアルミナイド合金含有タービンブレードの凸状表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードの凸状表面からオーバーストック材料を取り除くこととを含む。一例によれば、ノズル出口から所定の距離のところで切り溝によって材料が０．０２５ｍｍから５ｍｍだけ取り除かれる。一例によれば、ノズル出口から所定の距離のところで切り溝によって材料が０．５ｍｍから３ｍｍだけ取り除かれる。一例では、材料が約１ｍｍから２ｍｍだけ取り除かれる。

【００３６】

一例では、高圧下で流体が出てくるノズルと例えばタービンブレードなどの被加工物の表面との間の間隙は、約０．１ｃｍから約５．０ｃｍまでの範囲内である。関係する一実施形態では、ノズルと被加工物の表面との間の距離は、約０．１ｃｍ、１．０ｃｍ、１．５ｃｍ、２ｃｍ、または２．５ｃｍである。この距離は、与えられた被加工物に対する要件に適合するように調節することができる。例えば、他のすべての変数を一定に保った場合、ノズル開口部が被加工物の表面に近ければ近いほど、ノズルから出て、相互作用し、被加工物の表面と接触する流体の影響は大きくなる。ノズルが近ければ近いほど、切り溝は狭くなる－ジェットが明確に決められれば決められるほど、精度は高くなる可能性があるが、指数関数的に高くなる材料除去率による反対の作用を受ける。逆に、ノズルが被加工物から遠ざかると、取り除ける材料の率および／または量は、ノズルが取り除かれる被加工物の部分の表面にかなり近づけられている場合に比べて小さくなる。同様に、ノズル開口部から出る流体が被加工物の表面と接する角度は、被加工物の表面から取り除かれる材料の率および／または量を決定する際の一係数である。一例では、タービンブレードまたは別のチタンアルミナイド合金含有物品などの被加工物は固定され、ノズルは、被加工物の表面に相対的に移動する（図１～３を参照）。

【００３７】

本明細書の教示によれば流体は、アブレイシブ媒体があってもなくても高圧下でノズルから放出され、チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過する。この圧力は、典型的には、表面上で１平方インチ当たり約５０００から約１０，０００ポンドまでの範囲内である。一実施形態では、表面上のこの圧力は、１平方インチ当たり約４０，０００から約８０，０００ポンドまでの範囲内である。別の実施形態では、ノズル開口部のところの流体の圧力は、１平方インチ当たり約８０，０００ポンドから１平方インチ当たり約１５０，０００ポンドまでの範囲内である。物品の表面と高圧流体との間の相互作用によって生じる剪断力は、表面にひび割れまたは損傷を引き起こすことなく金属間化合物材料の局所的流れを発生する。このプロセスにより、凹凸が取り除かれ、表面にある点食が除去される。チタンアルミナイド合金含有物品または被加工物は、チタンアルミナイド合金含有エンジン、タービン、またはタービンブレードを含む。

【００３８】

通過するステップは、一例では、２ステッププロセスまたは最大５ステップからなるプロセスを含むことができる。例えば、通過するステップは、流体中に懸濁されている異なる粒径のアブレイシブ媒体を通過させることを含み、次いで、この流体は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで高速で通過する。アブレイシブ媒体を形成する粒子の粒径は、本開示の一態様である。例えば、通過するステップは、異なる粒径の粒子を流体中に懸濁することと、次いで、流体中に懸濁された、約１４０ミクロンから約１９５ミクロンまでの範囲内の粒子の第１のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、次いで、流体中に懸濁された、約１１５ミクロンから約１４５ミクロンまでの範囲内の粒子の第２のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、次いで、流体中に懸濁された、約４０ミクロンから約６０ミクロンまでの範囲内の粒子の第３のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることとを含む。

【００３９】

一例では、異なる粒径のアブレイシブ媒体が、流体中に順次懸濁され、流体は、流体が物品の表面上を通過する期間に小さな粒径の粒子が物品の表面と接触するように物品の表面の端から端まで高速で通過する。例えば、通過するステップは、最初に、流体中に懸濁された、約７０ミクロンから約３００ミクロンまでの範囲内の粒子のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、それに続いて、流体中に懸濁された、約２０ミクロンから約６０ミクロンまでの範囲内の粒子のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることとを含む。別の例では、通過するステップは、最初に、流体中に懸濁された、約１４０ミクロンから約３４０ミクロンまでの範囲内の粒子のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、それに続いて、流体中に懸濁された、約８０ミクロンから約１４０ミクロンまでの範囲内の粒子のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、さらに続いて、流体中に懸濁された、約２０ミクロンから約８０ミクロンまでの範囲内の粒子のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることとを含む。

【００４０】

特定の一実施形態において、アブレイシブ媒体の第３の、または最終の通過は、流体中に懸濁された、約５ミクロンから約２０ミクロンまでの範囲内の粒子を表面の端から端まで通過させることを伴う。特定の一実施形態において、アブレイシブ媒体の最終の通過は、流体中に懸濁された、約１０ミクロンから約４０ミクロンまでの範囲内の粒子を表面の端から端まで通過させることを伴う。関係する一実施形態では、アブレイシブ媒体の最終の通過は、表面上の端から端までの懸濁されているアブレイシブ媒体の第２、第３、第４、または第５の通過とすることができる。一実施形態では、粒子に対する単位は、粒子の粒径を反映する。蔑の実施形態では、粒子に対する単位は、幅または直径などの、粒子の外形寸法を反映する。いくつかの実施形態では、アブレイシブ媒体は、表面の端から端まで異なるサイズの同じ組成物であるか、または１つまたは複数の異なる組成物とすることができる。例えば、アブレイシブ媒体は、さまざまな粒径のアルミナ粒子、またはアルミナ粒子とさまざまな粒径のザクロ石との混合物である。

【００４１】

例示的な一実施形態によるアブレイシブの粒径は、加工される表面および達成される表面仕上げの硬さおよび粗さに照らして、必要な作業率と一致する最小の粒径であるべきである。一般的に、アブレイシブの粒子または「グリット」サイズが小さければ小さいほど、粒子のより小さな個片を取り除くことができ、滑らかな表面が得られ達成される。アブレイシブは、約５０ミクロンから最大約６００ミクロン程度の粒径を有することが最も多い。より一般的に、アブレイシブの粒径は、約１００から約３００ミクロンまでの範囲内である。

【００４２】

一例における流体は、水、油、グリコール、アルコール、またはこれらの組み合わせからなる群から選択される。一例では、流体中に約５０ミクロンから約４００ミクロンまでの範囲の粒子を混入させてから流体を物品の表面の端から端まで通過させ、流体の固形物負荷は質量流で約１０％から約４０％である。一実施形態では、流体の固形物負荷は、約

５％から約５０％までの範囲内である。別の実施形態では、流体の固形物負荷は、約１５％から約３０％までの範囲内である。

【００４３】

アブレイシブ媒体を構成する粒子の粒径だけでなく、物品の表面上の端から端までの粒子の速度およびそれぞれの通過するステップに対する持続時間も制御される。一実施形態では、通過速度は、粒子が物品上を１フィート通過するのに要する時間が１分未満となるような速度である。別の実施形態では、粒子が物品上を１フィート通過するのに１０秒から４０秒要する。別の実施形態では、粒子が物品上を１フィート通過するのに１秒から２０秒要する。

【００４４】

一態様では、高圧下の流体は、高い直線速度を有する。この高い直線速度は、少なくとも毎分５０インチであり、別の例では、少なくとも毎分１００インチであり、また別の例では、少なくとも毎分１０００インチである。これは、切削ヘッドが移動するときの切削ヘッドの進行方向のジェットの直線速度を指す。いくつかの実施形態では、アブレイシブ媒体を含む流体は、毎分約５０インチから毎分約１０００インチまでの高い直線速度でチタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過する。直線速度がジェットそれ自体の速度を意味している場合、一例では、速度は約２００ｍ／ｓから約１０００ｍ／ｓまでの範囲内であり、別の例では、約３００ｍ／ｓから約７００ｍ／ｓまでの範囲内である。一例では、アブレイシブ媒体を含む媒体は、物品の表面の端から端まで通過し、チタンアルミナイド微細構造と相互作用する。

【００４５】

チタンアルミナイド含有物品の表面から材料を高い剪断速度で取り除くための本明細書で教示されている方法により、表面を滑らかにし、物品の表面上の凹凸および点食をなくすことができる。つまり、本明細書で教示されている方法により、物品の表面上に表面ひび割れまたは他の損傷を生じさせることなく材料を物品から取り除くことができる。本開示の教示により、チタンアルミナイド含有合金の局所的可塑的変形のみが、典型的には、１０～１５０ミクロンの深さに生じる。しかし、これは、チタンアルミナイド含有合金の少なくとも１つの相が可塑的変形される技術とは対照的である。一実施形態では、流体は、流体を物品の表面の端から端まで通過させる前に室温より高い温度に加熱する。本発明の技術の特徴は、表面変形プロセスが表面の下にある合金微細構造内の相と相互作用する仕方にある。

【００４６】

本明細書で教示されている方法の通過するステップと変形するステップは、物品の表面から材料が望み通りに取り除かれるか、または所望の粗さ値が得られるまで、順次繰り返すことができる。一例では、タービンブレード、タービン静翼／ノズル、ターボチャージャー、レシプロエンジンのバルブ、ピストン、および同様のものなどの高性能の物品の表面は、約２０マイクロインチ以下の粗さ（Ｒａ）を有することが望ましい。いくつかの場合において、通過するステップおよび変形するステップは、少なくとも２回順次繰り返す。いくつかの場合において、通過するステップおよび変形するステップは、さまざまな粒径の、または順次小さくなって行く粒径のアブレイシブ媒体を含む懸濁液で複数回順次繰り返す。これは、所望の表面仕上げが得られるまで実行される。例えば、通過するステップは、流体中に懸濁された、約１４０ミクロンから約１９５ミクロンまでの範囲内の粒子の第１のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、次いで、流体中に懸濁された、約１１５ミクロンから約１４５ミクロンまでの範囲内の粒子の第２のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることと、次いで、流体中に懸濁された、約４０ミクロンから約６０ミクロンまでの範囲内の粒子の第３のアブレイシブ媒体を表面の端から端まで通過させることとを含む、

本明細書で教示されている方法とは対照的に、典型的には、チタンアルミナイドコンポーネントの表面仕上げは、多軸フライス加工、研削、アブレイシブ研磨、転動プロセス、または化学研磨によって実行される。本明細書で表示されている方法とは対照的に、機械

的方法は表面を損傷する危険性を伴い、化学的方法は時間がかかる。一貫して形成できる表面仕上げ上のこの従来の処理には制限がある。これらの大型の機械加工技術によって導入される力は、コンポーネントの表面のひび割れを生じさせうる望ましくない応力を引き起こしうる。典型的なチタンアルミナイド鋳造品のひび割れに対する延性および感受性が制限されるため、従来の研削および研磨技術を使用した鋳造品の表面仕上げの改善が制限される。本発明の技術では、上述の不利点のリスクが大幅に軽減される改善された表面仕上げが実現される。

【００４７】

本開示の別の態様は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変えるための方法である。一実施形態では、これは、構造物上のチタンアルミナイド合金含有物品を安定化することと、流体を安定化されたチタンアルミナイド合金物品の表面の端から端まで高い直線速度で通過させることと、チタンアルミナイド系γ相とチタンアルミナイド合金のα２（Ti_3Al）相の両方を変形することとを含み、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除き、それにより、物品の表面を変える。一例における安定化ステップは、前記チタンアルミナイド合金含有物品を構造物に固定すること、取り付けること、および結合することのうちの１つまたは複数を含む。流体を通過させることは、アブレイシブ媒体を物品の表面の端から端まで通過させることを含み、アブレイシブ媒体を含む流体とチタンアルミナイド微細構造の相との間に相互作用がある。一態様では、本開示は上述のようなプロセスに従って形成されるチタンアルミナイド合金含有物品である。一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有エンジン、チタンアルミナイド合金含有タービン、またはチタンアルミナイド合金含有タービンブレードを含む。

【００４８】

別の態様では、本開示は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を機械加工するための方法であり、この方法はチタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体をチタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料を取り除くこととを含む。

【００４９】

別の態様では、本開示は、チタンアルミナイド合金含有物品からオーバーストック材料を取り除くための方法であり、前記方法はチタンアルミナイド合金含有物品を用意することと、高圧下の流体をチタンアルミナイド合金含有物品の表面の端から端まで通過させることと、チタンアルミナイド合金含有物品の表面を変形することと、物品からオーバーストックを取り除くこととを含み、チタンアルミナイド合金含有物品の表面から、物品の表面にひびを入れたり、損傷したりすることなく、凹凸および点食も取り除く。

【００５０】

本開示の別の態様は、チタンアルミナイド合金含有物品の表面のＲａ値を低減するための方法であり、前記方法は構造物上のチタンアルミナイド合金を安定化することと、高圧下で流体中に懸濁された順次小さくなるグリットサイズの粒子を安定化されたチタンアルミナイド合金の表面の端から端まで高速度で通過させることと、ＴｉＡｌ系の相とチタンアルミナイド合金のα２（Ti_3Al）相の両方を可塑的に変形することと、それによりチタンアルミナイド合金の表面のＲａ値を下げることとを含む。

【００５１】

本発明の技術の一例は、材料、例えば過剰なオーバーストック材料（例えば図１～３を参照）を鋳造によって生産されたチタンアルミナイド含有物品の表面から取り除くことを伴う。使用される粒子の種類ならびにその粒径および粒子を含む流体が物品上をどれだけ長く通過しているかを含む状態により、処理前に比べてＲａ値が低いチタンアルミナイド含有物品を得ることができる。７０マイクロインチのＲａ値は、約２ミクロンに対応し、３５マイクロインチのＲａ値は、約１ミクロンに対応する。典型的には、タービンブレード、タービン静翼／ノズル、ターボチャージャー、レシプロエンジンのバルブ、ピストン

、および同様のものなどの高性能の物品の表面は、約２０マイクロインチ以下のＲａを有することが要求される。本発明で教示されている方法を実践することによって、物品の表面の粗さは、少なくとも約５０％低減される。例えば、チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期Ｒａが約１００マイクロインチより大きく、物品の表面のＲａは、処理後に約５０マイクロインチ以下に低減される。一態様では、本開示は、チタンアルミナイド合金含有物品、例えば、タービンブレードであり、これは、その表面の少なくとも一部の端から端まで約１ミクロン未満の粗さを有する。

【００５２】

一例では、処理後の物品の表面の粗さは、約２０マイクロインチＲａ以下である。別の例では、処理後の物品の表面の粗さは、約１５マイクロインチＲａ以下である。別の実施形態では、処理後、Ｒａ値は１０マイクロインチ以下に下げられる。いくつかの実施形態では、処理後に、Ｒａ値は、約１／３から約１／６に低減される。例えば、処理後に、Ｒａ値は、約１／５に低減される。一実施形態では、Ｒａ値は、処理前の鋳造での７０～１００マイクロインチのレベルから、処理後の２０マイクロインチ未満のレベルに改善される。

【００５３】

本発明の技術の教示によれば、物品の表面の粗さは、少なくとも約２５％低減することができる。いくつかの場合において、物品の表面の粗さは、少なくとも５０％低減される。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに２０％から８０％だけ低減されうる。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約２倍低減されうる。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約４倍低減されうる。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約６倍低減されうる。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約８倍低減されうる。一実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約１０倍低減されうる。別の実施形態では、物品の表面の粗さは、処理前レベルと比較したときに約２倍から約１０倍だけ低減されうる。

【００５４】

チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期粗さが約１００マイクロインチＲａより大きいものとしてよいが、処理後には、物品の表面の粗さは、約５０マイクロインチＲａ以下に低減される。別の実施形態では、物品の表面の粗さは、約２０マイクロインチＲａ以下に低減される。一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期粗さが約１２０マイクロインチＲａであり、この粗さは、処理後に、約２０マイクロインチＲａに低減される。一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期粗さが約１１５マイクロインチＲａであり、この粗さは、処理後に、約１０マイクロインチＲａに低減される。一実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品の表面は、初期粗さが１１０マイクロインチＲａ以上であり、この粗さは、処理後に、約３０マイクロインチＲａ以下に低減される。

【００５５】

本発明の実施形態では、完成した物品に実質的に欠陥のない表面を形成する。それに加えて、本発明の技術の教示を実践することによって、得られる完成した物品（例えば、タービンブレード）は、物品の表面の少なくとも一部の端から端まで５０マイクロインチ未満の粗さを、また代替的形態では、１０マイクロインチ未満の粗さを有する。

【００５６】

一態様は、チタンアルミナイド合金を含む表面の少なくとも一部の端から端まで約１ミクロン未満の粗さを有するチタンアルミナイド合金含有物品である。一実施形態では、この物品は、鋳造品である。一例では、この物品は、インベストメント鋳造品である。別の例では、物品は、加熱処理されるか、または熱間静水圧プレスによって処理される。熱間静水圧プレス（ＨＩＰ）は、金属の多孔率を低減し、多くのセラミック材料の密度を高めるために使用される製造プロセスである。これにより、材料の機械的性質および被加工性が改善される。ＨＩＰプロセスでは、コンポーネントを高圧環境、例えば、格納容器内に

おいて高い温度と等方ガス圧力の両方に曝す。典型的にはアルゴンが加圧ガスとして使用される。アルゴンなどの不活性ガスが使用され、これにより物品は化学反応を起こさない。チャンバーを加熱すると、これにより、容器内側の圧力が増加し、物品に対して全方向から圧力が加えられる（したがって、「等方」と称される）。一例では、加えられる不活性ガスの圧力は７，３５０ｐｓｉ（５０．７ＭＰａ）から４５，０００ｐｓｉ（３１０ＭＰａ）までの範囲内であり、１５，０００ｐｓｉ（１００ＭＰａ）が一例である。

【００５７】

物品は、エンジンまたはタービンとすることができる。特定の一実施形態では、物品は、タービンブレードである。別の実施形態では、チタンアルミナイド合金含有物品は、チタンアルミナイド合金含有タービンブレードを含む。一例では、チタンアルミナイド合金含有物品は、タービンブレードであり、タービンブレードの作動面の少なくとも一部は、約４０マイクロインチ未満のＲａ粗さを有する。別の実施形態では、チタンアルミナイド合金物品の表面領域の大部分は実質的に平面状であり、粗さは約２０マイクロインチＲａ未満である。特定の一実施形態では、物品は、ブレードの作動面の少なくとも一部で約１５マイクロインチＲａ未満の平均粗さを有するタービンエンジンブレードである。

【００５８】

従来のアブレイシブウォータージェット（ＡＷＪ）は、ジェットで金属を切断するために使用され、ジェットにより被加工物材料を完全に切り開く。本開示は、ＡＷＪの修正バージョンを適用して、スキムカットを生成するか、または表面研磨を行う。アブレイシブウォータージェットは、コンポーネントの表面のライトカットまたは研磨のため被加工物表面上をかすめるように設定される。ＡＷＪプロセスは、鋳造オーバーストック誤差を補正し、公差および表面仕上げ要件を満たすように部品の機械加工を終了することを目的として設定される。被加工物に相対的に、複雑な工具経路が被加工物の輪郭を辿るようにジェットを移動する。多軸ＣＮＣドライバーによって相対運動が生じる。ジェット空間的外形は、機械加工領域内の被加工物の輪郭とマッチする。

【００５９】

ウォータージェットは、アブレイシブプロセスであり、切削力が低い。別の利点は、工具のコストが低いことである。本明細書で教示されている方法の別の利点は、高圧ジェットで材料を切削し、研磨して高速に取り除き、サイクルタイムを短縮するという点である。アブレイシブウォータージェット研磨は、制御された工具経路でジェットにより実行することもできる。これは、従来の機械加工および表面研磨アプローチの代替的プロセスである。

【００６０】

一般に、アブレイシブは、望ましくは、質量流で約１０から約３０％のレベルの処方の濃度で使用される。物品に対して加工を実行する速度は、アブレイシブの空間濃度に関係し、濃度が、チタン含有物品の加工における最良の効率が得られるプロセスサイクルタイムおよび生産性を達成するのに十分であることを保証することが適切である。アブレイシブの濃度に文字通りの下限はないけれども、アブレイシブ含有量は、媒体の切削力の主要な決定要因であり、これが低すぎると、必要な変形が生じない可能性のあることに留意されたい。低い濃度のアブレイシブを使用する場合、必要な切削力を達成するために、ジェット圧力および速度を高めるなどの、他の技術を使用するとよい。高圧下の流体を使用する表面変形研磨アプローチは、改善された表面仕上げが成されたコンポーネントを形成し、従来のフライス加工および研削法と比較していくつかの利点がある。例えば、本発明の技術は、発生する表面欠陥を最小限度に抑えながら表面仕上げを改善するための高速で単純な方法を提供する。このアプローチは、低コストであり、また高率の自動化にもなじむ。

【００６１】

アブレイシブウォータージェット切断に関する典型的な文献情報、および当業者の一般的知識から、ジェットにおけるアブレイシブ粒子の分布のランダム性により、使用者が±０．０１０”以上の粗削り精度を得ることはできないことがわかる。そのため、出願人は

、当業者の従来技術／知識ではＡＷＪプロセスがバルク材の粗削りに制限されると確信する。典型的には、アブレイシブウォータージェット切断は、表面の機械加工ではなく、物体を完全に切り開くために使用される。本発明では、制御されながら少量の材料（０．００１”から０．０２０”）を取り除くことを可能にするアブレイシブウォータージェットミリング、または機械加工の新しい態様を説明している。本開示において説明されているような、表面アブレイシブウォータージェットミリングに対する典型的な構成は、例えば図１～３に示されている。

【００６２】

アブレイシブウォータージェット切断の当業者の従来の実施とは反対に、本開示では、高い質量流量と併せてウォータージェット内の粒子分布のランダム性を直接利用して厚さ方向切断ではなくオーバーストック部分の表面から材料を取り除く。本発明では、アブレイシブウォータージェット切り溝を制御し、使用する典型的には、切断プロセスにおいて、「切り溝」は、結果として材料が失われる特徴部と考えられ（切り溝は、従来の機械加工技術の切削工具によって形成される溝の幅として定義される）、したがって有害である。

【００６３】

しかし、本開示では、切り溝は、図４で説明されているように、一連の異なる時間に、切削される表面に当たるジェット内のアブレイシブの空間分布の時系列積分として再定義される。この積分された結果は、切断幾何学的形状を記述するために使用される確率密度関数（ＰＤＦ）である。切り溝は、制御されながらある部分から過剰な材料を建設的に取り除くために使用されるように制御される。切断幾何学的形状は、滞留時間（供給速度、またはジェットの並進速度によって制御される）が材料除去速度を直接制御することを除き、従来のフライスの側部とそっくりに表される。ジェットの特性およびジェットの運動の制御は、材料の除去速度を制御する際に重要な役割を果たす。

【実施例】

【００６４】

一般的に説明されている、これらの技術は、いくつかの態様および実施形態を例示することのみを目的として含まれ、いかなる形でもシステムおよび方法制限することが意図されていない、以下の例を参照することによってさらに容易に理解できる。

【００６５】

粗さ値は、プロファイル上または表面上のいずれかで計算されうる。プロファイルの粗さパラメータ（Ｒａ，Ｒｑ，．．．）がより一般的である。粗さパラメータのそれぞれは、表面を記述するための公式を使用して計算される。多くの異なる粗さパラメータが使用されているが、R_aは群を抜いて最も一般的である。他の一般的なパラメータとして、R_z、R_q、およびR_{sk}が挙げられる。

【００６６】

平均粗さＲａは、高さの単位で表される。ヤードポンド法（英語）では、１Ｒａは、典型的には、１インチの「１００万分の１」で表される。これは、「マイクロインチ」とも称される。本明細書で示されているＲａ値は、マイクロインチを指す。振幅パラメータは、平均線からの粗さプロファイルの垂直偏差に基づき表面を特徴付ける。表面形状測定装置は、部分の表面にそってトレースし、その平均粗さを決定するためにスタイラスを使用するデバイスである。

【００６７】

表面粗さは、Ｒａなどの、単一の数値によって記述される。多くの異なる粗さパラメータが使用されているが、Ｒａが最も一般的である。これらのパラメータはすべて、表面プロファイル内のすべての情報を単一の数に集約する。Ｒａは、絶対値の算術平均であり、Ｒｔは、集められた粗さデータ点の範囲である。Ｒａは、表面仕上げに対する最も一般的なゲージのうちの１つである。

【００６８】

以下の表に、表面粗さの典型的な測定結果を使用して記述されるような、表面粗さの比

較をまとめた。

【００６９】

【表１】

粗さ値 Raマイクロメートル	粗さ値 Raマイクロインチ	粗さ等級数
50	2000	N12
25	1000	N11
12.5	500	N10
8.3	250	N9
3.2	125	N8
1.6	63	N7
0.8	32	N6
0.4	16	N5
0.2	8	N4
0.1	4	N3
0.05	2	N2
0.025	1	N1

一例では、ノズルは、図１に示されているように、例えばタービンブレードなどの、被加工物とほとんど接触しているように形成される。ここで、ノズルから発せられるジェットの縦軸は、図１に示されているように揃えられ、これは、凸側のオーバーストックとともに鋳造エーロフォイルから材料を取り除いた後に形成される表面の輪郭に従ってオーバーストック部分に関して移動される。ウォータージェットは、例えば粒径が約５０から約６００ミクロンまでの範囲であるザクロ石またはアルミン酸イットリウム粒子を含む例えば水などの流体のジェットを供給するように形成された。使用される高圧流体ジェットは、０．０３０インチの円形のノズルオリフィス口径を有する。複雑な工具経路で被加工物に相対的にジェットが移動され、多軸ＣＮＣドライバーによって相対運動が生じた。オーバーストック鋳造部分は、例えば、エーロフォイルの凸側にのみ例えば１ｍｍのオーバーストック材料を有する。

【００７０】

オーバーストックは、鋳造時に生じる凝固収縮、鋳型との反応、熱処理時に生じる環境と反応、部分の最終的な機械加工を行うときに対応できる鋳造の寸法偏差への対応の余裕をみるために使用されるものである。アブレイシブ流体ジェットノズルの空間プロファイルは、オーバーストック材料を取り除かなければならない凸面上のブレードの領域内の被加工物輪郭に従うように形成される（前後の輪郭の例を示す図２を参照）。スキムカットで取り除くことができる材料の厚さ範囲は、約０．０５ｍｍから約５．０ｍｍまでの範囲内である。特定の例では、材料の約０．１ｍｍから約２．５ｍｍまでの範囲の分をスキムカットで取り除くことができる。一実施形態では、円形でないスロットなどの、代替的幾何学的形状のノズルを使用することもでき、エーロフォイルの輪郭により適していると思われる他のノズル幾何学的形状も使用できる。

【００７１】

一実施形態では、１５０～３００ミクロンのサイズのグリットを使用して１０インチ／分の直線速度で、オーバーストック材料の大量の個片をブレードから切り落とした。この

操作のときに、切り溝は、材料の大きなブロックを取り除くためのノコギリとして働く。別の実施形態では、さらにノズルジェットからの切り溝は、時間で制御される切断深さを許容する拡散接触機構として機能する。この実験は、縦軸から１０°となるようにブレードを配向することによって実行した。切断は、低速、例えば、２インチ／分で、また振動する高速で、例えば、１００インチ／分で前後に動いてなされた。切断深さに対する露出時間変数およびその効果の影響を調べるために、評価的切断も実行した。部分の表面粗さは、８０マイクロインチＲａ未満であり、取り除いた材料の量は、４／１０００インチであった。

【００７２】

最終寸法に合わせて部分を仕上げ削りするタービンブレードの後縁のアブレイシブウォータージェット加工の３つの追加例を以下で説明する。図３は、後縁の約１”以内の領域内のタービンブレードエーロフォイルの凸面となっている表面から０．００４”分を取り除くために使用された実験配置を示している。チタンアルミナイド含有物品、この場合、タービンブレードを固定具に置いて安定させた。固定具は、ブレードがブレードの縦軸に平行な軸の周りに回転できるように回転軸上に設けられた。ブレードは、ブレード台の面が固定具の水平基準位置に直接置かれるように固定具上で配向された。次いで、後縁面の１”以内の面の接線がウォータージェットノズルと一致する縦軸から１０°外れて与えられるように固定具を回した。

【００７３】

切削されたブレードの後縁の写真画像を図５～７に示す。注目する特定の領域について、画像内で領域１、２、および３のラベルを付けてある。領域１は、原材料であり、領域２は、以下で説明するように、例１のアブレイシブウォータージェット切削表面を示している。領域３は、以下で説明するように、例３のアブレイシブウォータージェット切削表面を示している。例１および例２で得られた表面仕上げは許容可能なものであり、例３で得られた表面仕上げは、許容可能でないものである。

【００７４】

第１の例では、部分をジェットとかすめて接触させ、ジェットを以下の態様のブレードの縦軸にそって移動させ、ブレードの凸面から材料を取り除くことに成功した。毎分約１００インチの最大供給速度でブレードの縦軸に平行な長さ２”の領域上でジェットを振動させた。４回の完全なサイクル（＋２”、－２”）を実行し、その結果得られた表面が図５～７の写真の領域２内に示されているが、これらの図は、切削表面の異なる斜視図となっている。制御されながらチタンアルミナイドを約０．００４”取り除くことに成功した。機械加工前の元の表面は、図５～７の写真内の領域１に見ることができる。アブレイシブウォータージェットによるミリング加工表面上でＲａが８０マイクロインチ未満の良好な表面仕上げが得られた（例えば、図８を参照）。

【００７５】

第２の例では、チタンアルミナイドタービンエーロフォイルをアブレイシブウォータージェットとかすめて接触させ、ジェットを以下の態様のブレードの縦軸にそって移動させ、第１の例からのブレードの後縁の別の領域内のブレードの縦軸と平行な約１”の横断長にわたって毎分約１インチと遅い速度で連続的にジェットを移動した。材料の約０．００４”の分を取り除くことに成功した。Ｒａが８０マイクロインチ未満の表面仕上げが得られた。

【００７６】

第３の例では、部分を受け取ったままのブレードの新しい領域内でアブレイシブウォータージェットとかすめて接触させ、ジェットをブレードの縦軸にそって平行移動させた。ブレード表面の端から端までのジェットの運動が中断され、速度はゼロに近づいた。速度が遅くなり、ゼロに近づくと、材料の除去速度は実質的に上がり、取り除かれる材料の量を制御する能力は下がった。例えば、領域３では、ジェットの速度がゼロに近づき、適所で５秒間留まったときに、材料の厚さの最大０．０２５”が制御されない形で取り除かれ、タービンブレードの表面に望ましくない溝ができた。例１および２の条件とは異なり、

例３では、材料の速度を適切に制御することは可能でない。この機械加工の応答は、図５のブレードの面と、図６および７のブレードの後縁とに見ることができる。

【００７７】

従来の高圧ウォータージェットシステムとともに４軸コンピュータ数値制御装置を使用してアブレイシブウォータージェット加工作業を実行した。説明した３つの例のそれぞれにおいて、毎分１ポンドの質量流量で標準のザクロ石（１５０～３００ミクロンの粒子分布）を使用し、１平方インチ当たり８５，０００ポンドの水圧を使用した。

【００７８】

ミリング加工／切削される表面に対するアブレイシブウォータージェットのこの１０°の提示角度は、望ましい材料除去量に応じて可能ないくつかの提示角度のうちのちょうど１つの角度を表す。一般に、この角度が急であれば急であるほど、切削または研磨される領域は小さくなり、作業は高速化される。角度は浅いほど、材料除去のより広い直線範囲に影響を及ぼし、材料を取り除く速度が遅くなり、精密に制御することができる。提示角度の好ましい範囲は、５から２０度までである。別の実施形態では、提示角度の範囲は、７から１２度までである。一実施形態では、この角度は、約１０度である。

【００７９】

上の説明は、例示することを目的としており、制限することを目的としていないことは理解されるであろう。例えば、上述の実施形態（および／またはその態様）は、互いに組み合わせて使用することができる。それに加えて、本発明の範囲から逸脱することなく、さまざまな修正を行って、特定の状況または材料をさまざまな実施形態の教示に適合させることができる。本明細書で説明されている材料の寸法および種類は、さまざまな実施形態のパラメータを定義することが意図されているが、決して制限するものではなく、例示しているにすぎない。上記の説明を読んだ後、当業者には他の多くの実施形態が明白なものとなるであろう。したがって、さまざまな実施形態の範囲は、付属の請求項の対象である等価物の全範囲とともに、付属の請求項を参照しつつ、決定されるべきである。 付属の請求項における英文中の「ｉｎｃｌｕｄｉｎｇ（含む、備える）」および「ｉｎ ｗｈｉｃｈ」という言葉は、「ｃｏｍｐｒｉｓｉｎｇ（含む、備える）」および「ｗｈｅｒｅｉｎ」のそれぞれの言葉と等価であるものとして使用される。さらに、請求項では、「ｆｉｒｓｔ（第１の）」、「ｓｅｃｏｎｄ（第２の）」、および「ｔｈｉｒｄ（第３の）」などの言葉は、単に、ラベルとして使用され、その対象に対する数値的要件を課すことを意図していない。さらに、請求項の制限は、手段＋機能の形式で書かれておらず、そのような請求項の制限において語句「ｍｅａｎｓ ｆｏｒ（の手段）」とそれに続く他の構造のないステートメントを明示的に使用しない限り、米国特許法第１１２条、第６段落に基づいて解釈されることを意図されていない。必ずしも上で説明されているそのような目的または利点のすべてが、特定の実施形態により達成されうるとは限らないことは理解されるであろう。そこで、例えば、当業者であれば、本明細書で説明されているシステムおよび技術が、本明細書で教示または示唆されているような他の目的もしくは利点を必ずしも達成することなく本明細書で教示されているような１つの利点もしくは複数の利点の群を達成または最適化する形で具現化または実施されうることを理解するであろう。

【００８０】

本発明は、限られた数の実施形態に関してのみ詳細に説明されているが、本発明は、そのような開示されている実施形態に制限されないことは容易に理解されるであろう。むしろ、本発明は、これまでに説明されていないが、本発明の精神と範囲に適合している、多くの変更、改変、置換、または同等の配列を組み込むように修正することができる。それに加えて、本発明のさまざまな実施形態について説明されているが、本発明の態様は、説明されている実施形態の一部のみを含みうることは理解されるであろう。したがって、本発明は、前記の説明によって制限されるものと見なされるべきではなく、付属の請求項の範囲によってのみ制限される。本明細書で言及されているすべての刊行物、特許、および特許出願は、それぞれの個別の刊行物または特許が参照により本明細書に組み込まれることが特に、また個別に指示されているかのように全体が参照により本明細書に組み込まれ

る。食い違いがある場合、本出願が、定義も含めて、優先する。

【００８１】

本明細書では、いくつかの例を使用して、最良の態様を含む発明を開示し、これにより、当業者は、デバイスまたはシステムを製作し、使用すること、および組み込まれている方法を実行することも含めて本発明を実施することができる。本発明の特許可能な範囲は、請求項によって定められ、当業者であれば思い付く他の例を含むものとしてよい。このような他の例は、これらの例が請求項の文言と異ならない構造要素を有している場合、またはこれらの例が請求項の文言との違いがわずかである同等の構造要素を含む場合に、請求項の範囲内にあることが意図される。

【図１】

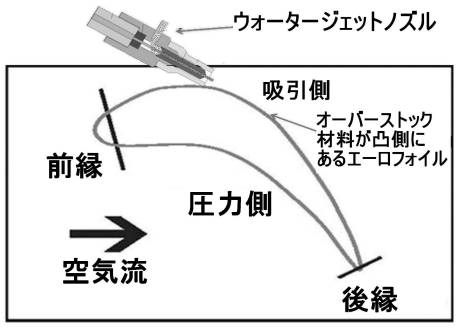

FIG. 1

【図２】

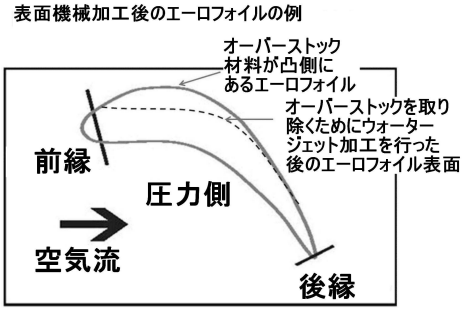

FIG. 2

【図３】

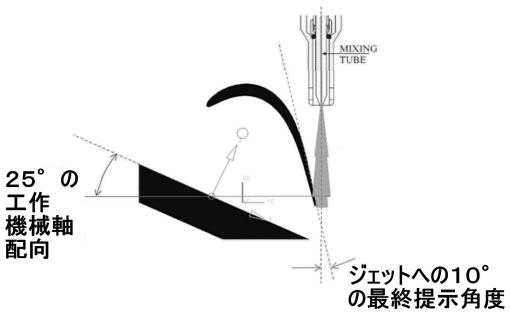

FIG. 3

【図４】

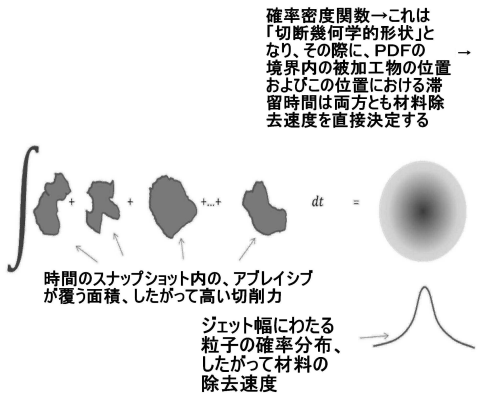

FIG. 4

【図５】

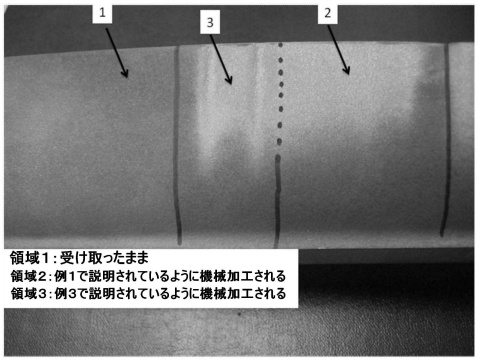

FIG. 5

【図６】

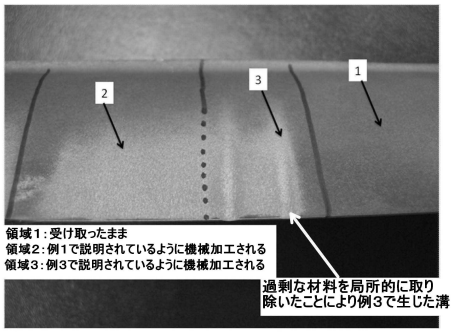

FIG. 6

【図７】

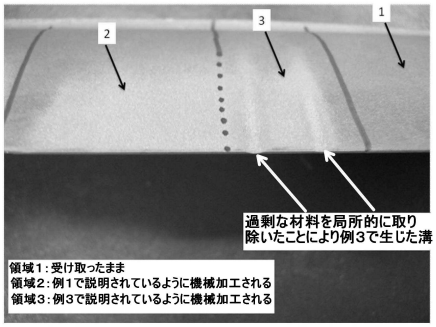

FIG. 7

【図８ａ】

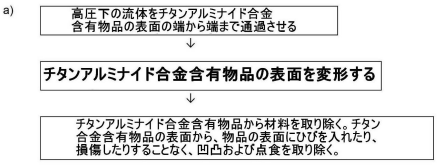

FIG. 8

【図８ｂ】

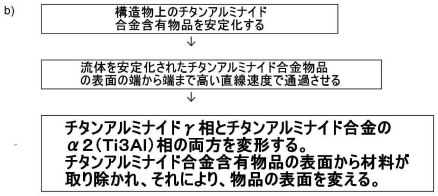
b)
構造物上のチタンアルミナイド
合金含有物品を安定化する
流体を安定化されたチタンアルミナイド合金物品
の表面の端から端まで高い直線速度で通過させる
チタンアルミナイドγ相とチタンアルミナイド合金の
α２(Ti3Al)相の両方を変形する。
チタンアルミナイド合金含有物品の表面から材料が
取り除かれ、それにより、物品の表面を変える。

FIG. 8

フロントページの続き

(72)発明者 バーナード・パトリック・ビューレイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・ジーイー・グローバル・リサーチ
(72)発明者 ジョナサン・セバスティアン・ジャンセン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・ジーイー・グローバル・リサーチ
(72)発明者 ビン・ウェイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・ジーイー・グローバル・リサーチ
(72)発明者 ユードン・チョウ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・ジーイー・グローバル・リサーチ

審査官 小川 真

(56)参考文献 米国特許出願公開第２００９／０２７２２４５（ＵＳ，Ａ１）
特開２００８－０６９４４９（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００１／００４７６７５（ＵＳ，Ａ１）
特表２０１１－５１６２８０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２４Ｂ　３１／００
Ｂ２４Ｂ　１９／１４
Ｂ２３Ｐ　１７／００
Ｂ２３Ｐ　１５／０４
Ｃ２２Ｃ　１４／００
ＷＰＩ