

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5687686号
(P5687686)

(45) 発行日 平成27年3月18日(2015.3.18)

(24) 登録日 平成27年1月30日(2015.1.30)

(51) Int.Cl.

F I

C 1 O M 171/06	(2006.01)	C 1 O M 171/06
C 1 O M 125/26	(2006.01)	C 1 O M 125/26
C 1 O M 125/22	(2006.01)	C 1 O M 125/22
C 1 O N 10/12	(2006.01)	C 1 O N 10:12
C 1 O N 20/06	(2006.01)	C 1 O N 20:06

Z

請求項の数 2 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-503771 (P2012-503771)
 (86) (22) 出願日 平成22年4月5日(2010.4.5)
 (65) 公表番号 特表2012-522876 (P2012-522876A)
 (43) 公表日 平成24年9月27日(2012.9.27)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2010/029981
 (87) 国際公開番号 W02010/117955
 (87) 国際公開日 平成22年10月14日(2010.10.14)
 審査請求日 平成25年3月27日(2013.3.27)
 (31) 優先権主張番号 61/166,849
 (32) 優先日 平成21年4月6日(2009.4.6)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 12/576,643
 (32) 優先日 平成21年10月9日(2009.10.9)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500520743
 ザ・ボーイング・カンパニー
 The Boeing Company
 アメリカ合衆国、60606-1596
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイ
 ド・プラザ、100
 (73) 特許権者 511236039
 ハワード ユニヴァーシティ
 アメリカ合衆国 ワシントン・コロンビア
 特別区 20059, スイート 321
 , 6番 ストリート ノースウエスト
 2400
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 互いに接触する表面の摩耗を低減する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに摺動接触する2つの鋼材表面の間の摩耗を低減する方法であって、

2つの鋼材表面の間に摺動接触の結果として生成される凝集摩耗粒子であって、鋼材とそこに埋め込まれる六方晶窒化ホウ素(hBN)粒子とを含む凝集摩耗粒子の内部にせん断線を生じさせる、0.1重量パーセント~10重量パーセントの六方晶窒化ホウ素を、互いに摺動接触している2つの鋼材表面の間に利用される流体潤滑剤に導入することと、2つの鋼材表面のうちの少なくとも1つの鋼材表面を使用して凝集摩耗粒子に少なくとも1回の荷重を加えることにより、せん断線に沿って凝集摩耗粒子を多数の更に小さな摩耗粒子に解砕することとを含む方法。

【請求項 2】

互いに摺動接触するチタン表面と鋼材表面との間の摩耗を低減する方法であって、

チタン表面と鋼材表面との間に摺動接触の結果として生成される凝集摩耗粒子であって、チタン及び鋼材とそこに埋め込まれる二硫化モリブデン(MoS₂)又は二硫化タングステン(Ws₂)とを含む凝集摩耗粒子の内部にせん断線を生じさせる、0.1重量パーセント~10重量パーセントの、二硫化モリブデン及び二硫化タングステンのうちの一方を、互いに摺動接触しているチタン表面と鋼材表面との間に利用される流体潤滑剤に導入することと、

チタン表面と鋼材表面とのうちの少なくとも1つの表面を使用して凝集摩耗粒子に少な

くとも1回の荷重を加えることにより、せん断線に沿って凝集摩耗粒子を多数の更に小さな摩耗粒子に解砕することを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本技術分野は概して、機械加工プロセス、及び他の形成及び製造プロセスに関するものであり、特に互いに相対運動しながら接触する表面の摩耗を低減する方法及び装置に関するものであり、相対運動には、例えば摺動運動、回転運動、及び他の形態の運動が含まれる。

10

【背景技術】

【0002】

第1金属部材が第2金属部材に当接することにより発生する摩擦によって、熱、摩耗、変形、及び表面傷が生じる多くのプロセスが知られている。或る場合には、2つの部材は異なる金属とすることができ、これらの部材のうちの一方は金属ではなくてもよい、またはこれらの部材のいずれもが、セラミックのように金属ではなくてもよい。1つの簡単な例では、ドリルビットを利用して部品にドリルで穴を空ける。これらの用途のうちの多くの用途において、2つの部材の間の摺動当接に伴う摩耗は最終的に、品質の低下、発熱量の増加、及びプロセス速度の対応する低下、またはエネルギー効率の低下をもたらす。2つの表面の間の上述の摺動当接に伴う他の有害な結果も知られている。摩耗の種類として、侵食摩耗、キャビテーション摩耗、ローリング摩耗、摺動/ローリング摩耗、及び衝突摩耗（本体摩耗、微粒子摩耗、及び液体摩耗）を挙げることができる。表面間の接触の種類として、摺動摩耗（「二体摩耗」）、ローリング摩耗（「三体摩耗」）、及び引っ掻きを挙げることができる。

20

【0003】

このような用途において摩耗を低減することは、摩耗の低減によって、治具または金型を、単に治具または金型が長持ちすることから、より長い期間に亘って使用することができるので望ましい。物理的な表現をすると、摩耗を低減するということは、これらの部材のうちの1つの部材から出てくる材料が、部材の作用面から除去される割合を低くすることができることを意味する。1つの実用例では、摩耗を低減することにより、ドリルビットを利用して、ドリルでより多くの穴を、ドリルビットを取り換える必要が生じる前に空けることができる。ドリルビットは、例えば表面に関連する平滑さを含む表面品質に悪影響を及ぼす程度が低いので、より長く使用することができる。

30

【0004】

このようなプロセスに含まれる現在のプロセス方法では、必ずしも、摩耗を低減していない。そうではなく、このようなプロセス方法では、摩擦を低減しようとしている。摩擦を低減する解決策では、オイル、グリース、及び固体潤滑剤、例えば二硫化モリブデン（ MoS_2 ）のような潤滑剤；及びコーティング及び粉末のような乾燥潤滑剤をプロセスに添加する。他の解決策では、カスタムコーティングを、当接が生じると予測される表面に塗布する。

40

【0005】

種々のカスタムコーティングを使用して、表面を保護することができ、例えばドリルビットの切削面にコーティングを施すことができる。しかしながら、一旦、ドリルビットが摩耗して使えなくなる（幾つかの用途では、これは、幾つかの複合材料ドリル加工プロセスの場合に、1ビット当たり75ドルもするドリルビットを利用して穴を3つ空けただけで起こり得る）と、ドリルビットを研磨し直す必要がある。再研磨によって、コーティングを除去してしまうので、案内穴を再びプロセスにおいて利用することができるようにする前に、案内穴にコーティングプロセスを再度、施す必要もある。

【0006】

摩耗屑が摺動界面に蓄積し、凝集し、更にこれらの摩耗屑が摩擦及び摩耗に悪影響を与

50

えることが知られているが、摩耗屑が形成する凝集物を分解する手段については、深く考察されてこなかった。1つの有利な方法は、特に大きな力が表面の間に作用する用途において摺動面の間に蓄積してしまうパーティクルのサイズを小さくする方法またはシステムを開発することである。パーティクルサイズを小さくすることにより、表面の間の直接接触を広げることができる。このような方法またはシステムによって、ドリル穴空け、及び研磨のような多くの工業用途の効率及びコスト効率が高まることになる。

【発明の概要】

【0007】

1つの態様では、互いに摺動接触している2つの表面の間の摩耗を低減する方法が提供される。方法は、ナノ粒子を2つの表面の間に、少なくとも1つの凝集摩耗粒子の内部にせん断線を生じさせる量及び組成で導入することを含む。これらの凝集摩耗粒子は、摺動接触が2つの表面の間で行なわれる結果として2つの表面の間に生成される。これらの凝集摩耗粒子に少なくとも1回の荷重を、2つの表面のうちの少なくとも1つの表面を使用して加えることにより、凝集摩耗粒子がせん断線に沿って解砕されて、多数の更に小さな摩耗粒子となり、2つの表面の間の接触を保護することができる。

10

【0008】

別の態様では、互いに摺動接触している2つの表面の摩耗を低減する方法が提供される。方法は、ナノ粒子を使用して、2つの表面の間に摺動接触の結果として蓄積される凝集摩耗粒子を不安定化させることと、不安定化し、凝集した摩耗粒子を、更に小さな粒子片に破壊して、2つの表面の間の接触を保護することを含む。

20

【0009】

説明してきた特徴、機能、及び利点は、本発明の種々の実施形態において個々に達成することができる、または更に他の実施形態において組み合わせることができ、これらの実施形態に関する更なる詳細は、以下の記述及び図面を参照しながら理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、互いに摺動接触するようになっている2つの表面の間の凝集摩耗粒子を示している。

【図2】図2は、粒子を通して形成されるせん断線を生じさせて不安定化させる凝集摩耗粒子を示している。

30

【図3】図3は、図2の凝集摩耗粒子が破壊されて多数の更に小さな摩耗粒子になる様子を示している。

【図4】図4は、摩耗の低減が、2つの表面の間の摺動接触過程において潤滑剤に添加される六方晶窒化ホウ素ナノ粒子、二硫化モリブデンナノ粒子、または二硫化タングステンナノ粒子のナノ粒子濃度によって変化する様子を示している。

【図5】図5は、六方晶窒化ホウ素ナノ粒子、二硫化モリブデンナノ粒子、または二硫化タングステンナノ粒子を潤滑剤に、2つの鋼材表面の間の摺動接触過程において添加する場合の異なる摩耗低減量を示すグラフである。

【図6】図6は、異なる粒子濃度の六方晶窒化ホウ素ナノ粒子、二硫化モリブデンナノ粒子、または二硫化タングステンナノ粒子を潤滑剤に、鋼球を鋼板に押圧摺動させる過程において添加する場合の440C鋼球の異なる摩耗低減量を示すグラフである。

40

【発明を実施するための形態】

【0011】

本明細書において記載される実施形態は、2つの表面が互いに摺動接触している場合のいずれかの表面、または両方の表面の質量損失を低減する方法及び組成に関するものである。一般的に、これらの表面は、ドリルビット、及びドリルビットが作用する対象となる部品のような金属である。しかしながら、これらの実施形態は、これらの表面のうちの一方または両方の表面が金属ではない用途において確実に適用することができる。質量損失の低減は、2つの物品または表面の間の摺動接触中または摩擦運動中に発生する凝集摩耗

50

粒子を不安定化させることにより行なわれる。他の実施形態では、凝集摩耗粒子は、「固体膜」と表記することができ、この固体膜は、略球形とは異なる比較的高いアスペクト比を有することができる。

【 0 0 1 2 】

図 1 は、互いに摺動接触している 2 つの表面 1 2 と 1 4 との間の凝集摩耗粒子 1 0 の先行技術における様子を示している。図 1 は、表面 1 2 及び 1 4 が不完全であり、一連の山及び谷を呈する様子を示す顕微鏡図である。しかしながら、表面 1 2 及び 1 4 は、代表的な表面を示しており、これらの表面は、場合によっては、裸眼には平滑に見え、場合によっては、触れると平滑に感じるが、実際には、かなり大きな凹凸を低倍率で観察した場合に有している。

10

【 0 0 1 3 】

この技術分野で知られているように、一方または両方の摩擦表面 1 2 及び 1 4 から削り取られる摩耗屑は、接触圧を受けている状態で凝集することにより、凝集摩耗粒子 1 0 を発生し易く、この凝集摩耗粒子が、特に 2 つの表面 1 2 及び 1 4 の軟質部分を擦り取ってしまう。この凝集摩耗粒子 1 0 は、凝集摩耗粒子が表面仕上げ部の或る特性寸法よりも小さい状態を保持している限り、研磨剤としてさほどの効果を発揮することはない。摩耗粒子 1 0 のサイズが大きくなると、2 つの表面 1 2 と 1 4 との間の相互作用は、摩耗粒子 1 0 のサイズが増大するので小さくなる。更に詳細には、表面 1 2 及び 1 4 は、摩耗粒子 1 0、及び摩耗粒子 1 0 に類似する他の粒子のサイズが大きくなるので、直接互いに相互作用することがなくなる。摩耗粒子 1 0 のような摩耗粒子は、これらの摩耗粒子が、塑性変形する結果として硬くなって作用し、対向する表面 1 2 及び 1 4 の両方に影響を及ぼすので、研磨作用を呈する。基本的に、摩耗粒子 1 0 は、表面 1 2 及び 1 4 の両方に作用している。ドリル加工例では、摩耗粒子 1 0 が十分大きなサイズである場合、ドリルは、ドリルビットが表面に直接作用するのではなく、ドリルビットから摩耗粒子 1 0 に加わる圧力に応じた材料除去を行なっている。しかしながら、この相互作用は、表面 1 2 と 1 4 との間の直接相互作用にほぼ近い効率で行なわれる訳ではない。更に、表面 1 2 は、表面 1 4 に作用するように設計されるカッティング治具を表わしているので、表面 1 2 が摩耗粒子 1 0 から受ける研磨力は、カッティング治具の使用壽命を短くするように作用する。

20

【 0 0 1 4 】

図 1 に示す時点における摩耗粒子 1 8 , 2 0 , 2 2 , 及び 2 4 は、摩耗粒子 1 0 よりも小さい。このような摩耗粒子は、図に示すように、表面不完全領域の内部に集まり易い。しかしながら、表面 1 2 及び 1 4 と摩耗粒子 1 0 との間の相互作用が続く場合、摩耗粒子 1 8 , 2 0 , 2 2 , 及び 2 4 のサイズは、これらの摩耗粒子が表面 1 2 と 1 4 との間の相互作用に影響を及ぼす程度にまで更に大きくなり、更に、サイズが大きくなる問題がこれらの問題に加わって、これらの摩耗粒子の分が、摩耗粒子 1 0 のサイズに加わることになる。各摩耗粒子がこれらの小さい粒子のうちの 1 つの粒子として存在している時間の割合が大きくなるということは、2 つの表面 1 2 及び 1 4 の摩耗が小さいことを意味することが明らかである。現在の用途においては、摩耗粒子 1 8 , 2 0 , 2 2 , 及び 2 4 は、これらの摩耗粒子自体と凝集してしまうか、または摩耗粒子 1 0 と一体になって凝集し、この問題が、凝集によって生じる上に説明したこれらの問題に加わることになる。

30

40

【 0 0 1 5 】

一般的に、表面 1 2 及び 1 4 の摩耗を小さくするために、摩耗粒子は、摩耗粒子 1 8 , 2 0 , 2 2 , 及び 2 4 が小さくなるにつれて、摩擦表面 1 2 及び 1 4 の表面粗さ、ビット、及び溝に「隠れてしまう」ほど、十分小さい状態を保持する必要がある。残念なことに、表面 1 2 と 1 4 との間の相互作用が続く場合、凝集摩耗粒子 1 0 は、材料特性、及び 2 つの表面 1 2 と 1 4 との間の接触状態によって決まる安定かつ大きなサイズにまでサイズを増やし続ける。上述のように、摩耗作用が表面 1 2 と 1 4 との間で加わることになる。

【 0 0 1 6 】

以下の節では、表面 1 2 及び 1 4 が一体となって摩擦する過程で生成される凝集摩耗粒子 1 0 が、脱落する、または解砕されて、このような作業において通常生じる普通の摩擦

50

荷重を受けてより小さい粒子に変化する様子を記述する。このような摩耗粒子は、せん断面または断層線が摩耗粒子の内部に、これらの摩耗粒子が凝集するときに強く現われるようにすることにより生成される。

【0017】

一般的に、潤滑剤を使用するプロセスについて考察する場合、これらのプロセスは、摩擦が小さいと考えられ、更に部品が生産されている過程にあると考えられる。更に詳細には、一般的に、生産されている部品は、不可避免的に、プロセスにおける2つの金属のうちの軟質金属により作製されたと考えられ、硬質金属で軟質金属を加工すると考えられる。その結果、ほとんどの解決策では、潤滑剤、及び作製されている部品の処理を向上させるために使用されている潤滑材の内部のナノ粒子を取り扱っている。

10

【0018】

これとは異なり、以下の実施形態はまた、このような部品を、凝集摩耗粒子を不安定化させる、例えばせん断することにより作製して、両方の表面における摩耗速度を低くする治具に関するものである。これらの実施形態は、接触している2つの材料の表面の間の接触点での相互作用に関する最新の知識を利用する。更に詳細には、これらの実施形態は、凝集摩耗粒子をどのようにして不安定化させ、これらの凝集摩耗粒子を今度は、利用して治具の摩耗を、例えばスタンピング、ピーニング、ドリリング、マシニング、グラインディング、ポリッシング、インクリメンタルシートフォーミング、カッティング、及びパンチングを含む多くのプロセスにおいて低減する（従って、治具、ドリルビット、ソーなどのリカリングコスト（継続的に発生する費用）を低減する）ことができるかについて記述している。

20

【0019】

摩耗凝集のせん断に関して、摩耗凝集は、摩耗粒子が界面に捕捉され、大きな接触圧を受けて圧縮されるときに生じる（概要については、Journal of Tribology 114, No. 2, (1992) 379-393に掲載されたOkta y, S. T., 及びSuh, N. P., による“Wear particle formation and agglomeration”, (摩耗粒子の形成及び凝集)と題する論文を参照)。摩耗凝集には、摩擦せん断（不安定化）が摺動中に生じるので、圧縮粒子の間のせん断強度が低下すると、摩耗凝集の破壊が容易になる。ナノ粒子が界面の流体潤滑剤として分散した状態のオイルが豊富に存在することに起因して、ナノ粒子が個々の摩耗粒子に固着し、摩耗凝集の過程に関与してくる。本明細書において記載されるナノ粒子の非限定的な例、すなわち MoS_2 , WS_2 , 及びhBNは、せん断強度が非常に低い固体潤滑剤である（概要については、CRC; 1st edition (October 15, 2001)に掲載されたKazuhisa Miyoshiによる“Solid Lubrication Fundamentals & Applications”, (固体潤滑剤の基礎と応用)と題する論文を参照)。従って、凝集部の内部の摩耗粒子をせん断するためには、より小さいせん断力で済む。SEM顕微鏡写真から、 MoS_2 , WS_2 , 及びhBNがせん断界面に存在していることが判明した。

30

【0020】

このような実施形態は、部品の間の摩擦を低減するのではなく、摺動及び回転しながら接触している2つの部品の間の摩耗を低減するために作用することができる。摩擦を低減するように調製されるのではなく、摩耗を低減するように調製される構成を使用すると、実験的試験から、硬度が高い方の材料（治具または金型）の重量損失を最大70パーセント小さくすることができることが判明した。摩耗を低減する構成は、最小の摩擦量をもたらす構成とする必要がないことに注目されたい。

40

【0021】

図2は、凝集摩耗粒子100を、せん断線を、摩耗粒子を通過するように配置することにより不安定化させる様子を描いている。1つの実施形態では、凝集摩耗粒子100の不安定化は、特定のナノ粒子102を凝集摩耗粒子100に導入することにより行なうことができる。1つの実用用途では、ナノ粒子102を、流体潤滑剤を介して導入する。他の

50

実施形態では、ナノ粒子 102 を、乾燥粉末を介して、またはコーティングを介して部品のうちの 1 つ以上の部品に導入する。別の実施形態では、ナノ粒子 102 を凝集摩耗粒子 100 に、互いに摺動接触している 2 つの材料のうちの一方の材料の成分として導入することが考えられる。

【0022】

本発明の 1 つの実施形態では、超音波粉碎機を使用してナノ粒子を、 10 cm^3 の容積を有するオイル試料内で分散させた。超音波粉碎は、オイルを、熱交換器を介して冷却水で冷却して加熱を防止しながら、10ワットの出力電力で 5 分間の 2 期間に亘って行なった。オイル中のナノ粒子の重量濃度は、1 パーセントの数分の 1 から数パーセントに変化させて、摩擦及び摩耗に与えるナノ粒子濃度の影響を分析した。超音波微粉碎プロセスによって、分散性が向上し、オイル中の平均粒子サイズが、オイル及びナノ粒子溶液を単に揺動する場合よりも小さくなった。表 1 は、オイル中のナノ粒子の分散特性を示している。

表 1：ナノ粒子及びナノ粒子の分散特性

材料	粉末溶解直後の 平均サイズ [*] (nm)	揺動後のオイル中 の平均サイズ [*] (nm)	超音波粉碎後のオイル中 の平均サイズ [*] (nm)
MoS ₂ ナノ粒子	70-100	1000	600
WS ₂ ナノ粒子	50	600	450
hBN ナノ粒子	70	800	550

【0023】

ナノ粒子 102 を混入するときの準備段階の結果を図 2 に示す。硬質表面 110 及び軟質表面 112 の両方から、材料が失われている。損失材料が表面 110 と 112 との間の作用が継続することによって凝集して、凝集摩耗粒子 100 が、上に説明したような互いの継続的な摺動接触により生じている。しかしながら、ナノ粒子 102 を摺動接触領域に導入することにより、摩耗粒子 100 はこの時点で、摩耗粒子 100 内に埋まった多数のナノ粒子 102 を含み、これによって、せん断線 120 及び 122 が摩耗粒子 100 を通って延びるように生じることになる。特定の別の用途では、ナノ粒子 102 は、1 種類以上の固体潤滑剤により生成され、これらの固体潤滑剤として、これらには限定されないが、二硫化モリブデン (MoS₂)、二硫化タングステン (WS₂)、及び六方晶窒化ホウ素 (hBN)、及びこの技術分野で公知のグラファイト及び他の材料のような他の固体潤滑剤を挙げることができる。

【0024】

凝集摩耗粒子 10 (図 1 に示す) は、表面 12 及び 14 から摩耗脱落し、凝集して合体して略単一の粒子になった材料によって完全に構成される。1 つの結果は、摩耗粒子が、せん断線が摩耗粒子を通るように生じることがないので、固体質量体のように作用するということである。別の結果は、表面 12 が表面 14 に直接作用するのではなく、摩耗粒子 10 が両方の表面 12 及び 14 に作用するということである。

【0025】

摩耗粒子 100 は、表面 110 及び 112 の摩耗に起因して大きくなるので、対照的であり、これらの表面の摩耗から生じる粒子が、かなりの数のナノ粒子 102 と一緒になって凝集する。ナノ粒子 102 が混入し、せん断面 120 及び 122 が結果的に生じることによって、摩耗粒子 100 が摩耗粒子 10 のサイズと同様のサイズになるのを阻止するように作用する。更に詳細には、十分な圧力が摩耗粒子 100 に加わった状態では、摩耗粒子は、図 3 に示すように、多数の更に小さな粒子片に破壊される。上に述べたように、このような粒子が非凝集状態になっている時間の割合が長くなると、互いに摺動接触している 2 つの表面の間の摩耗量は小さくなる。

【0026】

図3は、図2の凝集摩耗粒子100が破壊して多数の更に小さな摩耗粒子150になる様子を示している。これらの更に小さな摩耗粒子150は、例えば表面110及び112に続く谷160、162、164、及び166に移動することにより、摩耗粒子100などに関連して表面110及び112で生じる摩耗が小さくなる。凝集摩耗粒子100が破壊して生じる2つの結果は、機械加工して軟質材料とする作業が、よりクリーンに行なわれるということと、硬質表面110でカッティングするカッティング治具が長持ちすることであり、これらの結果の両方をカッティング領域170の直線で示している。

【0027】

ナノ粒子を特定の重量割合で、普通、プロセスに関連する潤滑剤に添加することにより、これらのナノ粒子が、表面から除去された材料とともに凝集して、凝集摩耗粒子100を形成する。ナノ粒子自体は、1つ以上の種々の形状で供給することができ、これらの形状として、これらには限定されないが、フレーク、ボール、及びロッドを挙げることができる。凝集摩耗粒子100は、研磨摩耗ボールと呼ばれることがある。この研磨摩耗ボールは、せん断面120、122で破壊されて分離し、この現象は、一旦、機械加工プロセスに関連する摺動接触により生じる力のような力が加わると、ナノ粒子102によって引き起こされる。例えば、潤滑剤に添加されるナノ粒子の組成及び濃度の選択は、金属、合金、複合材料、及び機械加工プロセスにおいて使用することができる他のいずれかの材料に部分的に依存する。添加されるナノ粒子の組成及び濃度の選択は、潤滑剤に関連する粘度にも影響される可能性があり、例えば流体潤滑剤の可使粘度を、特定のナノ粒子の添加前、及び添加後の両方において維持するようにする。凝集摩耗粒子100の分離片のサイズが小さくなることにより、両方の表面の摩耗が小さくなる。

【0028】

本明細書において記載される実施形態は、既存の作用領域へのナノ粒子の添加に関する。多数の機械加工プロセスのいずれにも耐えるように構成することができる多数の利用可能なナノ粒子による手法、利用可能な潤滑剤による手法、及び潤滑剤以外の材料による手法が存在する。更に詳細には、これらの実施形態は、大きな利点を機械加工プロセスにもたらす凝集摩耗粒子の不安定化だけでなく、ナノ粒子の決定、及び使用するナノ粒子の重量割合に関するものである。

【0029】

図4は、ナノ粒子を、チタン板を利用して440C鋼球に押し付ける機械加工プロセスに添加したときの摩耗低減結果を示す例示的なグラフ200である。グラフ200は、二硫化モリブデン(MoS_2)、二硫化タングステン(WS_2)、または六方晶窒化ホウ素(hBN)を潤滑剤に、約0.1パーセント～約10パーセントの重量百分率で添加したときに摩耗が低減する様子を示している。グラフ200は更に、約0.5重量%の二硫化タングステン(WS_2)によって摩耗の低減を最適化することができることを示している。グラフ200は更に、利用する材料(チタン及び鋼材)に関して、二硫化タングステンによって、六方晶窒化ホウ素(hBN)及び二硫化モリブデン(MoS_2)のいずれによって可能になるよりも摩耗量低減効果を向上させることができることを示している。

【0030】

1種類よりも多くのナノ粒子を選択して、金属表面ペアのような所定の表面ペアに作用させることができるので、ナノ粒子の選択は、コスト、及び/又は機械加工プロセスに利用している潤滑剤が、極めて大量のナノ粒子粉末を添加することにより「ガムアップを引き起こす」ことがないという要求に基づいて行なうことができる。1つの例では、潤滑剤に、約ゼロ重量パーセント～約10重量パーセントのナノ粒子を効果的に含有させ、この場合、粒子サイズは約100ナノメートル以下である。この百分率は、使用するナノ粒子の表面化学組成、潤滑剤の化学組成、及び作用条件によって変わることになる。

【0031】

図5は、摩耗低減効果が、約1重量%の六方晶窒化ホウ素(hBN)、約4重量%の二硫化モリブデン(MoS_2)、または約4重量%の二硫化タングステン(WS_2)を、鋼板を用いて440C鋼球に押し付ける機械加工プロセスに添加したときに最大になる様子

を示している。六方晶窒化ホウ素によって、摩耗低減効果の劇的な向上が、ほんの1重量パーセント濃度で得られるのに対し、それよりもわずかに良好な結果が、 MoS_2 または WS_2 を、4倍の量だけ使用することにより達成することができる。最適な摩耗低減効果が、約1重量パーセントの六方晶窒化ホウ素(hBN)、約4重量パーセントの二硫化モリブデン(MoS_2)、または約4重量パーセントの二硫化タングステン(WS_2)で現われるが、グラフ250は、二硫化モリブデン(MoS_2)、二硫化タングステン(WS_2)、または六方晶窒化ホウ素(hBN)を潤滑剤に、約0.1重量パーセント～約10重量パーセントで添加したときの摩耗の低減を示している。

【0032】

グラフ250は更に、摩耗粒子発生量が50パーセント超も低減する様子を示している。コスト要素がさらに、ほんの1パーセント濃度の六方晶窒化ホウ素(hBN)によって、4パーセント濃度の MoS_2 または WS_2 のいずれかに関連する結果よりも、効果がほんのわずかししか劣っていない結果が得られることから明らかになる。

【0033】

図6は、異なる粒子濃度の六方晶窒化ホウ素ナノ粒子、二硫化モリブデンナノ粒子、または二硫化タングステンナノ粒子を、鋼球を鋼板に押圧摺動させるプロセスにおける潤滑剤に添加したときの、440C鋼球の異なる摩耗低減量を示すグラフ300である。ミリグラム/メートル単位の鋼球の摩耗は、約4重量パーセント濃度の二硫化モリブデンナノ粒子を潤滑剤に付加したときに最も低減される。鋼球の摩耗が、六方晶窒化ホウ素ナノ粒子または二硫化タングステンナノ粒子を種々の濃度で潤滑剤に利用したときに低減する様子も示される。

【0034】

多くのナノ粒子の用途とは異なり、ここに記載されるプロセスは、ナノ粒子の分散均一性に対する感度が低い。一旦、ナノ粒子が、機械加工プロセスにおいて形成される摩耗粒子に当接すると、プロセスの力によって凝集を破壊する。しかしながら、ナノ粒子を、これらのナノ粒子が機械加工プロセスに添加されているときに懸濁状態に保持することが重要である。上に説明した超音波粉碎プロセスは、潤滑剤内のナノ粒子の懸濁または分散の一例に過ぎない。

【0035】

上に説明した実施形態は、治具または金型のような硬質表面の重量損失を、既存のオイル及び潤滑剤と比べると、最大70%低減することができる。更に、これらの実施形態はまた、部品が治具で加工されているときの軟質表面の重量損失を、既存のオイル及び潤滑剤と比べて少なくとも低減するために有効である。

【0036】

本記述では、複数例を用いて種々の実施形態を開示しており、これらの実施形態は、最良の形態を含むことにより、この技術分野の当業者であれば誰でもこれらの実施形態を実施することができ、例えば全ての組成またはシステムを形成し、使用することができ、全ての関連する方法を実行することができる。例えば、これらの実施形態は、生体適合用途、例えば人工関節、インスリンポンプ、心室補助装置、及びこの技術分野で公知の他の装置を含むことができる。更に、他の用途として、真空対応潤滑材料(例えば、宇宙船及び衛星)、汚染の影響を受け易い製造、及び非脱ガス性用途を挙げることができる。特許可能範囲は、請求項により規定され、この技術分野の当業者であれば想到し得る他の例を含むことができる。このような他の例は、これらの請求項の範囲に、これらの例が、これらの請求項の文言とは異なる構造的要素を有する場合に、またはこれらの例が、これらの請求項の文言とほとんど異なることがない等価な構造的要素を有する場合に含まれるべきものである。

また、本発明は以下に記載する態様を含む。

(態様1)

2つの表面が相対運動を行ないながら互いに接触する2つの表面の間の摩耗を低減する方法であって、

10

20

30

40

50

2つの表面の間に摺動接触の結果として生成される凝集摩耗粒子の内部にせん断線を生じさせる量及び組成で、ナノ粒子を2つの表面の間に導入することと、

2つの表面のうちの少なくとも1つの表面を使用して凝集摩耗粒子に少なくとも1回の荷重を加えることにより、せん断線に沿って凝集摩耗粒子を多数の更に小さな摩耗粒子に解砕することと

を含む方法。

(態様2)

ナノ粒子を導入することが、

流体潤滑剤を介して2つの表面の間にナノ粒子を導入すること、

乾燥粉末を介して2つの表面の間にナノ粒子を導入すること、

2つの表面のうちの1つ以上へのコーティングを介してナノ粒子を2つの表面の間に導入すること、及び

摺動接触している2つの表面のうちの一方の成分として、ナノ粒子を2つの表面の間に導入すること

のうちの少なくとも1つを含む、態様1に記載の方法。

(態様3)

ナノ粒子を導入することが、六方晶窒化ホウ素(hBN)、二硫化モリブデン(MoS₂)、及び二硫化タングステン(Ws₂)のうちの少なくとも1つを機械加工プロセスに導入することを含む、態様1に記載の方法。

(態様4)

ナノ粒子を導入することが、約0.1重量パーセント～約10重量パーセントの六方晶窒化ホウ素(hBN)を、互いに摺動接触している2つの鋼材表面の間に利用される流体潤滑剤に導入することを含む、態様1に記載の方法。

(態様5)

ナノ粒子を導入することが、約0.1重量パーセント～約10重量パーセントの、二硫化モリブデン(MoS₂)及び二硫化タングステン(Ws₂)のうちの一方を、互いに摺動接触しているチタン表面と鋼材表面との間に利用される流体潤滑剤に導入することを含む、態様1に記載の方法。

(態様6)

ナノ粒子を導入することが、ナノ粒子を、少なくとも1つの凝集摩耗粒子の内部に埋め込むことを含む、態様1に記載の方法。

(態様7)

ナノ粒子を導入することが、特定のナノ粒子を、重量百分率で、2つの表面の間に収容される潤滑剤及び機械加工流体のうちの少なくとも一方に添加することを含む、態様1に記載の方法。

(態様8)

更に、荷重下で粒子の解砕を引き起こすように、2つの表面を形成して十分な数のせん断線を少なくとも1つの凝集摩耗粒子に生じさせる材料と、ナノ粒子の組成を一致させることを含む、態様1ないし7のいずれか一項に記載の方法。

(態様9)

更に、特定のナノ粒子によって可能になる摩耗低減量に対する特定のナノ粒子のコストの比較結果を使用して、2つの表面の間の摩耗を低減するようにナノ粒子の組成を選択することを含む、態様1ないし8のいずれか一項に記載の方法。

(態様10)

更に、2つの表面の間の領域にナノ粒子を導入するために利用される流体潤滑剤の可使粘度を保持することにより、2つの表面の間の摩耗を低減するようにナノ粒子の組成を選択することを含む、態様1ないし8のいずれか一項に記載の方法。

(態様11)

互いに摺動接触している2つの表面の摩耗を低減する方法であって、

ナノ粒子を使用して、2つの表面の間に摺動接触の結果として凝集する摩耗粒子を不安

10

20

30

40

50

定化させることと、

不安定化し、凝集した摩耗粒子を、更に小さな粒子片に破壊することとを含む方法。

(態様 1 2)

不安定化させることが、2つの表面の間に生成される凝集摩耗粒子の内部にせん断線を生じさせる量及び組成で、ナノ粒子を2つの表面の間に導入することを含む、態様 1 1 に記載の方法。

(態様 1 3)

破壊を生じさせることが、圧力を凝集摩耗粒子に加えることにより、せん断線に沿って摩耗粒子を多数の更に小さな摩耗粒子に破壊することを含む、態様 1 1 又は 1 2 に記載の方法。

(態様 1 4)

不安定化させることが、六方晶窒化ホウ素 (h B N)、二硫化モリブデン (M o S ₂)、及び二硫化タングステン (W S ₂) のうちの少なくとも1つを機械加工プロセスに導入することを含む、態様 1 1 に記載の方法。

(態様 1 5)

不安定化させることが、凝集摩耗粒子の内部にナノ粒子を埋め込むことを含む、態様 1 1 に記載の方法。

(態様 1 6)

不安定化させることが、2つの表面の間に収容される潤滑剤及び機械加工流体のうちの少なくとも一方に、特定のナノ粒子を重量百分率で添加することを含む、態様 1 1 に記載の方法。

(態様 1 7)

更に、荷重下で粒子の解砕を引き起こすように、2つの表面を形成して十分な数のせん断線を凝集摩耗粒子の内部に生じさせる材料と、ナノ粒子の組成を一致させることを含む、態様 1 ないし 1 6 のいずれか一項に記載の方法。

(態様 1 8)

凝集摩耗粒子のせん断線を生じさせる組成であって、
流体潤滑剤と、

少なくとも 0 . 1 重量パーセントの、二硫化モリブデン (M o S ₂) 粒子、二硫化タングステン (W S ₂) 粒子、及び六方晶窒化ホウ素 (h B N) 粒子のうちの1つ以上の粒子と

を含み、潤滑剤内の平均粒子サイズが 6 0 0 n m 未満である、組成。

(態様 1 9)

組成粒子のサイズが超音波粉碎によって縮小されている、態様 1 8 に記載の組成。

(態様 2 0)

粒子の重量百分率組成が約 0 . 1 パーセント～約 1 0 パーセントの六方晶窒化ホウ素である、態様 1 8 又は 1 9 に記載の組成。

(態様 2 1)

粒子の重量百分率組成が約 1 パーセントの六方晶窒化ホウ素である、態様 2 0 に記載の組成。

(態様 2 2)

粒子の重量百分率組成が約 0 . 1 パーセント～約 1 0 パーセントの二硫化モリブデンである、態様 1 8 又は 1 9 に記載の組成。

(態様 2 3)

粒子の重量百分率組成が約 4 パーセントの二硫化モリブデンである、態様 2 2 に記載の組成。

(態様 2 4)

粒子の重量百分率組成が約 0 . 1 パーセント～約 1 0 パーセントの二硫化タングステンである、態様 1 8 又は 1 9 に記載の組成。

10

20

30

40

50

(態 様 2 5)

粒子の重量百分率組成が約 4 パーセントの二硫化タングステンである、態様 2 4 に記載の組成。

【 図 1 】

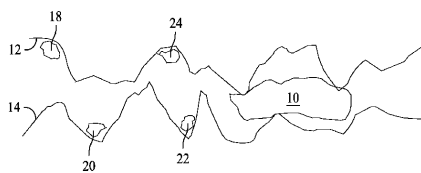


FIG. 1

【 図 2 】

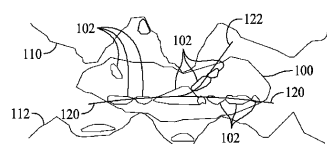


FIG. 2

【 図 3 】

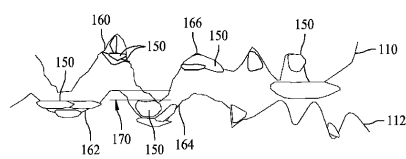
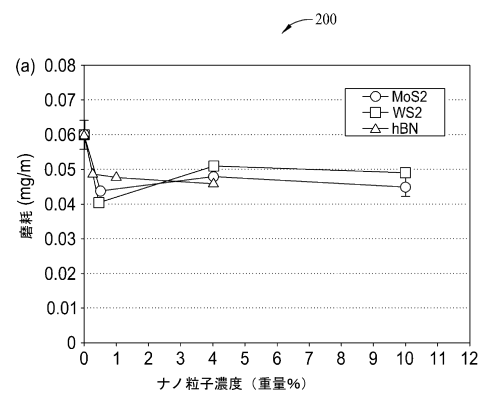
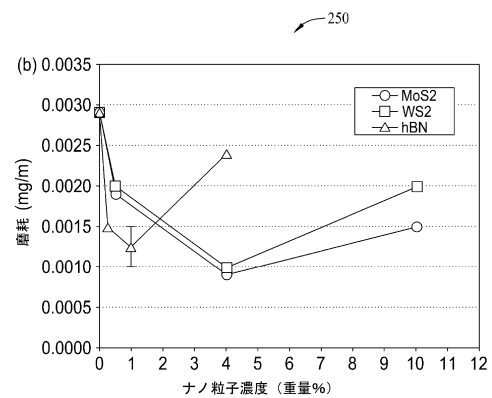


FIG. 3

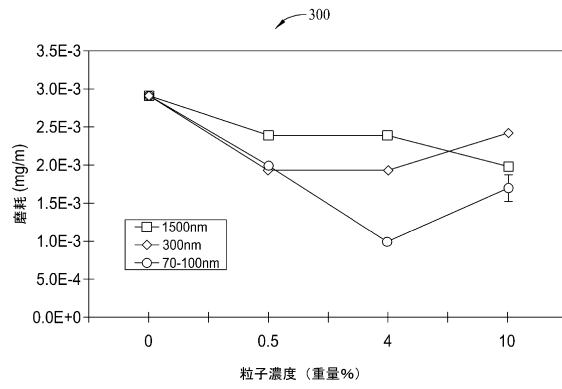
【 図 4 】



【 図 5 】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 1 0 N 30/06 (2006.01) C 1 0 N 30:06
C 1 0 N 40/20 (2006.01) C 1 0 N 40:20

(74)代理人 100101199

弁理士 小林 義教

(72)発明者 モスレー , モーゼン

アメリカ合衆国 メリーランド 2 0 8 1 7 , ベセスダ , ブラッドムア ドライヴ 8 7 0 1

(72)発明者 ベルク , ジョン , エイチ .

アメリカ合衆国 ミズーリ 6 3 1 4 6 , クリーヴ コウ , ベニントン コモン 1 2 7 7
9

審査官 内藤 康彰

(56)参考文献 国際公開第 2 0 0 7 / 0 8 2 2 9 9 (W O , A 1)

特開平 1 0 - 1 3 0 6 7 8 (J P , A)

特開昭 5 8 - 0 0 2 3 9 1 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 0 2 0 8 8 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C 1 0 M 1 0 1 / 0 0 - 1 7 7 / 0 0

C 1 0 N 1 0 / 0 0 - 8 0 / 0 0