

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5913302号  
(P5913302)

(45) 発行日 平成28年4月27日 (2016. 4. 27)

(24) 登録日 平成28年4月8日 (2016. 4. 8)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 1 J 3/00 (2006. 01)

B 2 1 J 3/00

B 2 1 J 13/02 (2006. 01)

B 2 1 J 13/02 Z

B 2 1 J 5/00 (2006. 01)

B 2 1 J 5/00 E

C 1 O M 103/00 (2006. 01)

B 2 1 J 5/00 B

C 1 O M 103/02 (2006. 01)

C 1 O M 103/00 A

請求項の数 29 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-515344 (P2013-515344)  
 (86) (22) 出願日 平成23年5月16日 (2011. 5. 16)  
 (65) 公表番号 特表2013-530047 (P2013-530047A)  
 (43) 公表日 平成25年7月25日 (2013. 7. 25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2011/036571  
 (87) 国際公開番号 W02011/159413  
 (87) 国際公開日 平成23年12月22日 (2011. 12. 22)  
 審査請求日 平成26年5月14日 (2014. 5. 14)  
 (31) 優先権主張番号 12/814, 591  
 (32) 優先日 平成22年6月14日 (2010. 6. 14)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 501187033  
 エイティーアイ・プロパティーズ・インコ  
 ーポレーテッド  
 アメリカ合衆国オレゴン州97321-0  
 580, アルバニー, ノース・イースト・  
 オールド・セーレム・ロード 1600  
 (74) 代理人 100140109  
 弁理士 小野 新次郎  
 (74) 代理人 100075270  
 弁理士 小林 泰  
 (74) 代理人 100096013  
 弁理士 富田 博行  
 (74) 代理人 100092967  
 弁理士 星野 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改良された鍛造性のための潤滑法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置すること、および  
 ワークを可塑的に変形させるために金型によりワークに力を付加すること  
 を含む鍛造潤滑方法であって、

ワークがチタン、チタン合金、ジルコニウム若しくはジルコニウム合金を含み、  
 ワークが変形の間において、華氏1000度以上の温度であり、そして変形の間におけ  
 る金型とワークとの間の剪断係数が0.50よりも低い  
 方法。

【請求項 2】

ワークが変形の間において、華氏1000度～華氏1600度の範囲の温度であり、そ  
 して変形の間における金型とワークとの間の剪断係数が0.09～0.20の範囲である  
 、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置することが、  
 下の金型の上面上に固体グラファイトシートを配置すること、および  
 固体グラファイトシート上にワークを配置すること  
 を含む、

固体グラファイトシートがワークの底面と鍛造装置の下の金型の上面との間に配置され  
 る、

10

20

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

追加の固体グラファイトシートをワークの最上部の表面上に配置することをさらに含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置する前に、金型を加熱することをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

ワークは、自由鍛造、閉塞鍛造、前方押出、後方押出、ラジアル鍛造、アップセット鍛造、およびドロ－鍛造からなる群より選択される鍛造作業で可塑的に変形される請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 7】

ワークは、ニアネットシェイプ鍛造プロセスおよびネットシェイプ鍛造プロセスの一つにおいて、可塑的に変形される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

ワークを可塑的に変形させた後、残余の固体グラファイトをワークから取り除くことをさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

固体グラファイトシートは、ワークが金型に対してダイロッキングすることを防止する請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 10】

鍛造装置が閉塞鍛造装置を含み、そして固体のグラファイトシートが金型の少なくとも一領域の輪郭にあうように予め成形された形状を構成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

ワークと閉塞鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置することが、金型内の金型の空洞内に固体グラファイトシートを挿入すること、ここで固体グラファイトシートの予備成形された形状が金型の空洞内の金型の少なくとも一領域の輪郭に合い金型の空洞内に、かつ固体グラファイトシート上にワークを挿入すること

を含み、

固体グラファイトシートがワークの底面と金型の空洞内の金型の上面との間に配置される、

30

請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

ワークと閉塞鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置することが、閉塞鍛造装置内の金型の空洞内に第 1 の固体グラファイトシートを挿入すること、ここで第 1 の固体グラファイトシートが金型の空洞内の下側金型の少なくとも一領域の輪郭に合う予備成形された形状を構成し、

金型の空洞内に、かつ第 1 の固体グラファイトシート上にワークを挿入すること、

第 2 の固体グラファイトシートを、ワークの最上部の表面と閉塞鍛造装置内の上側金型の下面との間に配置すること

40

を含む、

請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置すること、ここで固体潤滑剤シートは少なくとも 95 重量%のグラファイト炭素を含有する、および

ワークを可塑的に変形させるために金型によりワークに力を付加すること

を含み、

変形の間において、金型とワークとの間の剪断係数が 0.50 未満である、

鍛造潤滑方法。

【請求項 14】

50

固体潤滑剤シートが固体グラファイトシートである、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置することが、  
下側金型の上面上に固体潤滑剤シートを配置すること、および  
固体潤滑剤シート上にワークを配置すること

を含み、

固体潤滑剤シートがワークの底面と鍛造装置の下側金型の上面との間に配置される、  
請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 6】

追加の固体潤滑剤シートをワークの最上部の表面上に配置することをさらに含む、請求  
項 1 5 に記載の方法。

10

【請求項 1 7】

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置する前に、金型を加熱すること  
をさらに含む請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 8】

ワークが変形の間において、華氏 1 0 0 0 度～華氏 2 0 0 0 度の範囲の温度であり、そ  
して変形の間における金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 0 5 ～ 0 . 5 0 の範囲である  
、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 9】

ワークが変形の間において、華氏 1 0 0 0 度～華氏 1 6 0 0 度の範囲の温度であり、そ  
して変形の間における金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 0 9 ～ 0 . 2 0 の範囲である  
、請求項 1 3 に記載の方法。

20

【請求項 2 0】

ワークは、自由鍛造、閉塞鍛造、前方押出、後方押出、ラジアル鍛造、アップセット鍛  
造、およびドロウ鍛造からなる群より選択される鍛造プロセスで可塑的に変形される請求  
項 1 3 に記載の方法。

【請求項 2 1】

ワークは、ニアネットシェイプ鍛造プロセスおよびネットシェイプ鍛造プロセスの一つ  
において、可塑的に変形される請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 2 2】

ワークはチタン合金を含む、請求項 1 3 に記載の方法。

30

【請求項 2 3】

ワークはジルコニウム合金を含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 2 4】

ワークを可塑的に変形させた後、残余の固体潤滑剤をワークから取り除くことをさらに  
含む請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 2 5】

固体潤滑剤シートは、ワークが金型に対してダイロッキングすることを防止する請求項  
1 3 に記載の方法。

【請求項 2 6】

鍛造装置が閉塞鍛造装置を含み、そして固体の潤滑剤シートが金型の少なくとも一領域  
の輪郭に合う、予め成形された形状を構成する、請求項 1 3 に記載の方法。

40

【請求項 2 7】

ワークは、ニアネットシェイプ鍛造プロセスおよびネットシェイプ鍛造プロセスの一つ  
において、可塑的に変形される請求項 2 6 に記載の方法。

【請求項 2 8】

ワークと閉塞鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置することが、  
金型内の金型の空洞内に固体潤滑剤シートを挿入すること、ここで固体潤滑剤シートの  
予備成形された形状が金型の空洞内の金型の少なくとも一領域の輪郭に合い、および  
金型の空洞内に、かつ固体潤滑剤シート上にワークを挿入すること

50

を含み、

固体潤滑剤シートがワークの底面と金型の空洞内の金型の上面との間に配置される、  
請求項 26 に記載の方法。

【請求項 29】

ワークと閉塞鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置することが、  
閉塞鍛造装置内の金型の空洞内に第 1 の固体潤滑剤シートを挿入すること、ここで第 1  
の固体潤滑剤シートが金型の空洞内の下側金型の少なくとも一領域の輪郭に合う予備成形  
された形状を構成し、

金型の空洞内に、かつ第 1 の固体潤滑剤シート上にワークを挿入すること、  
第 2 の固体潤滑剤シートを、ワークの最上部の表面と閉塞鍛造装置内の上側金型の下面  
との間に配置すること

10

を含む、

請求項 26 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、米国商務省の国立標準技術研究所（NIST）により授与された先端技術計画賞、第 70NANB7H7038 号の下、米国政府の支援によってなされたものである。米国政府は、本発明について一定の権利を有する。

【0002】

20

本開示は、鍛造作業の間に金型とワークとの間の摩擦を減少させて、ワーク、例えば金属や合金のインゴットおよびピレットの鍛造性を高める方法に関する。

【背景技術】

【0003】

「鍛造」とは、固体材料を塑性変形によって加工および／または成型することを言う。鍛造は、機械加工（切削、研削、さもなければワークから材料を除去することによるワークの成形）や、鑄造（固めて型の形状を保持する液状材料のモールド成型）といった固体材料の形成操作の他の主な分類と区別できる。鍛造性は、材料を破壊することなく可塑的に変形させる相対的な能力である。鍛造性は、鍛造条件（例えばワークの温度、金型の温度および変形速度）や材料の特性（例えば組成、顕微鏡組織および表面構造）といった多くの要因に依拠する。所定のワークの鍛造性に影響を及ぼすもうひとつのファクターには、金型表面およびワーク表面に相互に作用するトライボロジーがある。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

鍛造作業での金型表面とワーク表面との間の相互作用には、熱伝達、摩擦および摩耗が含まれる。したがって、ワークと鍛造金型との間の断熱および潤滑は、鍛造性に影響を及ぼす要因である。鍛造作業の際、摩擦は潤滑剤の使用によって減少する。しかしながら、従来の鍛造潤滑剤には、特にチタン合金および超耐熱合金を熱間鍛造する場面に様々な問題点がある。本開示は、鍛造作業中に金型とワークとの間の摩擦を減少させ従来の鍛造潤滑法の様々な問題点を克服する潤滑法に関する。

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

本明細書に開示されている実施形態は、ワークと鍛造装置の金型との間に固体の潤滑シートを配置することを含む鍛造潤滑法に関する。金型は、ワークに力を加えワークを可塑的に変形させる。鍛造中の金型とワークと間の剪断係数は 0.20 未満である。

【0006】

本明細書に開示する他の実施形態は、チタンまたはチタン合金のワークピースと鍛造装置の金型との間に固体のグラファイトシートを配置することを含む鍛造潤滑法に関する。金型は、ワークに力を加え、華氏 1000 度～華氏 2000 度の範囲の温度でワークを可

50

塑的に変形させる。鍛造中の金型とワークとの間の剪断係数は0.20未満である。

【0007】

本明細書に開示されかつ記載されている発明は、要約に開示されている実施形態に限定されないことを理解されたい。

【0008】

本明細書に開示かつ記載されている特定の非限定的な実施形態の様々な特徴は、添付の図面を参照することによってより良く理解できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】摩擦のない条件下でワークを自由鍛造によって、アップセット鍛造する状態を示す断面概略図である。 10

【図1B】高摩擦条件下で同一のワークを自由鍛造によって、アップセット鍛造する状態を示す断面概略図である。

【図2A】固体の潤滑材シートに包まれた円筒ワークピースの斜視図である。

【図2B】固体の潤滑材シートに包まれた円筒ワークピースの斜視図である。

【図2C】固体の潤滑材シートに包まれた円筒ワークピースの斜視図である。

【図3A】固体の潤滑剤シートを使用せずに自由鍛造する作業を示す断面概略図である。

【図3B】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図3C】固体の潤滑剤シートを使用せずに自由鍛造する作業を示す断面概略図である。 20

【図3D】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4A】固体の潤滑剤シートを使用しない自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4B】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4C】固体の潤滑剤シートを使用しない自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4D】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4E】固体の潤滑剤シートを使用しない自由鍛造作業を示す断面概略図である。

【図4F】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の自由鍛造作業を示す断面概略図である。 30

【図5A】固体の潤滑剤シート無しでのラジアル鍛造作業を示す断面概略図である。

【図5B】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一のラジアル鍛造作業を示す断面概略図である。

【図6A】固体潤滑剤シート無しでの閉塞鍛造作業を示す断面概略図である。

【図6B】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の閉塞鍛造作業を示す断面概略図である。

【図6C】固体潤滑剤シート無しでの閉塞鍛造作業を示す断面概略図である。

【図6D】本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の閉塞鍛造作業を示す断面概略図である。 40

【図7A】ワークと鍛造装置の金型に関して固体潤滑剤シートおよび断熱シートの様々な配置を示す断面概略図である。

【図7B】ワークと鍛造装置の金型に関して固体潤滑剤シートおよび断熱シートの様々な配置を示す断面概略図である。

【図7C】ワークと鍛造装置の金型に関して固体潤滑剤シートおよび断熱シートの様々な配置を示す断面概略図である。

【図7D】ワークと鍛造装置の金型に関して固体潤滑剤シートおよび断熱シートの様々な配置を示す断面概略図である。

【図8】リング圧縮試験の全般的な構成を示す断面概略図である。

【図9】リング圧縮試験での様々な摩擦条件下で圧縮されたリングの形状を示す断面概略 50

図である。

【図 1 0 A】リング圧縮試験での圧縮前のリング状試験片を示す斜視断面図である。

【図 1 0 B】リング圧縮試験での比較的低い摩擦で圧縮された後のリング状試験片を示す斜視断面図である。

【図 1 0 C】リング圧縮試験での比較的高い摩擦で圧縮された後のリング状試験片を示す斜視断面図である。

【図 1 1 A】リング圧縮試験での圧縮される前のリング状試験片を示す上面図である。

【図 1 1 B】リング圧縮試験での圧縮される前のリング状試験片を示す側面図である。

【図 1 2】6 4 チタン合金のリング圧縮試験に関して圧縮された内径と剪断係数との関係を示すグラフである。

10

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 0】

読者は、本開示に記載の様々な非限定的な実施形態の詳細な説明を考慮すると、前述した詳細を他のものと共に理解するであろう。読者はまた、本明細書に記載された実施形態を実施し若しくは使用すると付加的詳細を理解し得る。

【0 0 1 1】

開示された実施形態の説明が、開示された実施形態を明瞭な理解関連する特色および特徴だけを示すために、明瞭性を目的に、その他の特徴および特性を省略しつつ単純化していることを理解されたい。当業者は、開示された実施形態の説明を考慮すると、開示された実施形態の特定の実施または使用にはその他の特色および特徴が望ましいことを認識するであろう。しかしながら、その他の特色および特徴は、開示された実施形態の説明を考慮すると当業者によって確かめられかつ実施され得るので、開示された実施形態を完全に理解するのに必要でなく、そのような特色、特徴等の説明は本明細書では提示しない。したがって、本明細書に記載されている説明が、開示された実施形態を単に例示し図示するだけのものであり、請求の範囲によって定められる本発明の範囲を制限することを意図してはいないことを理解されたい。

20

【0 0 1 2】

本開示では、特に示されない限り、数値パラメータはすべて、あらゆる場合に、「約」という用語により前置され修正されることを理解されたい。このとき、数値パラメータには、パラメータの数値を明らかにするために用いる基本の計測技術に固有の変動性がある。少なく見ても、請求の範囲に均等論の適用を制限しようとするのではなく、本明細書に記載された各数値パラメータは、少なくとも、報告された有効数字の数を考慮して、通常の丸め技術を適用することによりはじめて解釈される性質のものである。

30

【0 0 1 3】

また、本明細書に記載されているあらゆる数値範囲は、記載された範囲の中に包含される部分範囲をすべて含むことが意図されている。例えば、「1 ~ 1 0」という範囲には、記載された最小の値である 1 と記載された最大の値である 1 0 との間、すなわち 1 以上の最小値と 1 0 以下の最大値とを含む部分範囲をすべて含むことが意図されている。本明細書に記載されたあらゆる最大の数値限定が、包含される全ての小さい数値限定を含むことを意図しており、かつ本明細書に記載されているあらゆる最小の数値限定が、包含される全ての大きい数値限定を含むことを意図している。したがって、出願人には、本明細書に明示的に記載した範囲に包含されるあらゆる部分範囲を明示的に記載するために、請求の範囲を含む本開示を補正する権利がある。そのような範囲は余すことなく、そのような部分範囲のすべてを明示的に記載するための補正が米国特許法第 1 1 2 条第 1 パラグラフおよび米国特許法第 1 3 2 条 ( a ) 項の要件を満たすように本明細書に本質的に開示されることを意図する。

40

【0 0 1 4】

本明細書に用いられている文法上の冠詞である「one」、「a」、「an」および「the」は、特に明記しない限り、「少なくとも一つ」若しくは「一つ若しくは複数」を含むことが意図されている。これにより、この冠詞は、冠詞の文法上の対象の 1 つ若しく

50

は複数（すなわち「少なくとも一つ」）であることを言及するべく、本明細書に用いられている。一例として、「一つの部品」は、一つ若しくは複数の部品を意味しており、したがって、記載された実施形態の実施では、一つ以上の部品が企図されかつ利用され若しくは使用できる。

#### 【0015】

参照によって本明細書に組み込まれるあらゆる特許、刊行物または他の開示資料は、組み込まれる資料が既存の定義、記載、若しくは本明細書に明示的に記載されるその他の開示資料と矛盾しない範囲で、特に明記しない限り本明細書にその全体が組み込まれる。したがって、必要な範囲で、本明細書に記載の明白な開示は、参照によって本明細書に組み込まれる矛盾した資料に取って代わる。参照によって本明細書に組み込まれるが、存在する定義、記載若しくは本明細書に述べられている他の開示資料と矛盾する試料若しくはその一部は、組み込まれた資料と既存の開示資料との間に矛盾が生じない範囲でのみ組み込まれる。出願人には、参照によって本明細書に組み込まれた主題若しくはその一部を明示的に記載するために、本開示を補正する権利がある。

#### 【0016】

本開示は、様々な実施形態の説明を含む。本明細書に記載されている様々な実施形態が、例示的なものであり、例証のためのものであり、かつ非限定的なものであることを理解されたい。したがって、本開示は、様々な例示的、例証の非限定的な実施形態の記載により限定されない。むしろ本発明は請求の範囲により定められ、明示的若しくは本質的に記載され、さもなければ本開示によって明示的若しくは本質的に補完される特色若しくは特徴を記載するために補正され得る。更に出願人には、先行技術の特色または特徴を肯定的に放棄するために、請求の範囲を補正する権利がある。したがって、補正はいずれも、米国特許法第112条第1パラグラフ、および米国特許法第132条(a)項の要件を満たす。本明細書に開示記載の様々な実施形態は、本明細書に様々な記載されている特色および特徴を含み、成し、若しくは本質的に成し得る。

#### 【0017】

鍛造作業では、ワークの表面と金型の表面との間の界面摩擦は、摩擦的なせん断応力として量的に表すことができる。摩擦による剪断応力( )は、変形する材料の固体流動応力( )および剪断係数(m)の関数として、以下の式によって、表すことができる。

#### 【数1】

$$\tau = \frac{m}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}$$

剪断係数の値は、鍛造システムに潤滑性の定量的な尺度を提供する。例えば、潤滑剤を使用せずにチタン合金のワークを鍛造するときの剪断係数が0.6～1.0となるのに対し、ある溶けた潤滑剤でチタン合金を熱間鍛造するときの剪断係数は0.1～0.3となる。

#### 【0018】

例えば、鍛造作業について剪断係数の比較的高い値によって特徴づけられる不十分な鍛造潤滑では、多くの悪影響がある。鍛造では、金型から可塑的に変形しているワークに伝達される力によって材料の固体流れが生じる。金型とワークの界面の摩擦条件はメタルフロー、表面の形成、ワークの内部応力、金型に作用する応力、およびプレス荷重およびエネルギーの要件に影響を及ぼす。図1Aおよび図1Bは、自由鍛造でのアップセット鍛造作業に関連するある摩擦の影響を示している。

#### 【0019】

図1Aは、理論的に摩擦のない条件下での円柱状ワーク10の自由鍛造によるアップセット鍛造を示している。図1Bは、高い摩擦条件下での同一の円柱状ワーク10の自由鍛造によるアップセット鍛造を示している。上型14は、第一の高さから鍛造高さHまでワーク10を圧縮する(破線に示す)。据込力が均等な強度で、ワーク10に対し、上型1

4 および下型 16 によって反対方向に付加される。ワーク 10 を形成する材料は非圧縮性である。したがって、第 1 のワーク 10 と鍛造後のワーク 10 a , 10 b の堆積は等しい。図 1 A に示す摩擦のない条件下では、ワーク 10 は軸線方向および半径方向に一樣に変形する。これは、鍛造されたワーク 10 a の直線輪郭 12 a により示されている。図 1 B に示す高摩擦条件下では、ワーク 10 は軸線方向および半径方向に一樣に変形しない。これは、鍛造されたワーク 10 b の湾曲輪郭 12 b により示されている。

#### 【 0 0 2 0 】

このように、高摩擦条件下で鍛造されたワーク 10 b は「バレリング」を呈するが、摩擦のない条件下で鍛造されたワーク 10 a はいかなる「バレリング」も呈さない。鍛造中の金型 / 材料界面摩擦に起因するバレリングおよび均でない塑性変形の他の影響は、概して望ましくない。例えば閉塞鍛造では、界面摩擦は、変形する材料が金型内の空洞の全体を満たしていない空隙部を形成し得る。これは特に、ワークがより厳しい公差で鍛造されるネットシェイプ若しくはニアネットシェイプ鍛造の作業で問題となる。その結果、鍛造潤滑剤が鍛造作業中の金型表面とワーク表面との間の界面摩擦を減少させるために使用される。

10

#### 【 0 0 2 1 】

様々な実施形態では、鍛造潤滑法は、ワークと鍛造装置の金型との間に固体の潤滑剤シートを配置することを含む。本明細書に用いる「固体の潤滑剤シート」は、金属表面間の摩擦を減少させる固体潤滑剤を含む比較的薄い材料である。この固体潤滑剤は、環境条件下では固体の状態にあり、鍛造条件（例えば、温度が高くなる）下でも固体の状態のままである。固体潤滑剤シートは、鍛造の間に金型とワークとの間の剪断係数を 0 . 20 未満まで低下させる。固体潤滑剤シートは、グラファイト、二硫化モリブデン、二硫化タンゲステンおよび窒化硼素から成る群より選択される固体潤滑剤材料を含む。

20

#### 【 0 0 2 2 】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、室温での摩擦係数が 0 . 3 以下および / または融点温度が華氏 1500 度以上の固体潤滑剤を含む。固体潤滑剤シートに有用な本明細書に開示された固体潤滑剤は、例えば、固体潤滑剤を含む固体潤滑剤シートで鍛造される材料の剪断流動応力値が 20 % 以下の剪断流動応力値によって特徴づけられる。様々な実施形態では、固体潤滑剤シートを含む固体潤滑剤は、500 % 以上の剪断延性によって特徴づけられる。本明細書に開示されている固体潤滑剤シートに有用な固体潤滑剤には、適切なバインダ若しくは結合剤があってもなくても、シート形状に加工される性能がある。

30

#### 【 0 0 2 3 】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは柔軟であり、鍛造金型および / またはワークのキャピティの内部や外形の上、平面でない表面の上に配置できる。様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは硬くて、鍛造装置の金型とワークとの間に配置されたときに予め成形された形状または輪郭を保持する。

#### 【 0 0 2 4 】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、固体潤滑剤化合物（例えばグラファイト、二硫化モリブデン、二硫化タンゲステンおよび / または窒化硼素）および残留不純物（例えば灰）から構成され、かつバインダ、充填剤または他の添加物を含まない。あるいは、様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは固体潤滑剤、バインダ、充填剤および / または他の添加物を含む。例えば、固体潤滑剤シートは、周囲空気または高温の空気のような酸素を含む環境下で高い温度で連続して若しくは繰り返し使用できる酸化防止剤を含むことができる。

40

#### 【 0 0 2 5 】

様々な実施形態では、固体の潤滑剤シートは、繊維シートに接合された固体潤滑剤の積層物を含むことができる。例えば固体潤滑剤は、セラミック繊維シート、ガラス繊維シート、炭素繊維シート若しくはポリマー繊維シートに粘着して接合され若しくは熱的に接合される。適切な繊維シートには、織って作られたおよび織らないで作られた繊維シートが

50

含まれる。固体潤滑剤シートは、繊維シートの一側の側若しくは両側に接合された固体潤滑剤の積層物を含むことができる。本明細書に開示の方法に固体潤滑剤シートとして有用であり得る柔軟な繊維シートに接合された柔軟なグラファイトシートの積層体の実施例は、例えば米国特許第4,961,991号に記載されている。なお、その内容は参照によって本明細書に組み込まれる。

#### 【0026】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、ポリマーシートに接合された固体潤滑剤の積層物を含むことができる。例えば、固体潤滑剤は、柔軟なポリマーシートの一側の側若しくは両側に粘着して若しくは熱的に接合される。様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、固体潤滑剤を片面粘着したシートを含むことができる。例えば、グラファイト、二硫化モリブデン、二硫化タンゲステンおよび/または窒化硼素のシートは、シートの一側の側に付加された粘着剤を含むことができる。片面粘着の固体潤滑剤シートは、例えば鍛造作業の間に固体潤滑剤シートの適切な位置決めを確保するために、鍛造の前に金型および/またはワークの表面に付加して固着することができる。ポリマー材料、接着剤および/または他の有機物質を含む固体潤滑剤シートは、有機物の燃え尽きが許容される熱間鍛造作業に用いることができる。

#### 【0027】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、0.005インチ(0.13mm)~1.000インチ(25.4mm)の範囲、若しくはその部分範囲の厚みがある。例えば、様々な実施形態では、固体潤滑剤シートの厚みは最小、最大若しくは平均で0.005インチ(0.13mm)、0.006インチ(0.15mm)、0.010インチ(0.25mm)、0.015インチ(0.38mm)、0.020インチ(0.51mm)、0.025インチ(0.64mm)、0.030インチ(0.76mm)、0.035インチ(0.89mm)、0.040インチ(1.02mm)、0.060インチ(1.52mm)、0.062インチ(1.57mm)、0.120インチ(3.05mm)、0.122インチ(3.10mm)、0.24インチ(6.10mm)、0.5インチ(12.70mm)または0.75インチ(19.05mm)である。上述した厚みは、単一の固体潤滑剤シート、若しくは複数の固体潤滑剤シートの積重ねによって、得ることができる。

#### 【0028】

鍛造作業に用いられる固体潤滑剤シート若しくはシートの積重ねの厚みは、鍛造温度、鍛造時間、ワークの寸法、型の寸法、据え込み圧力、ワークの変形の大きさ等を含む様々な要因に応じて決まる。例えば、鍛造作業でのワークおよび金型の温度は、固体潤滑剤シートの潤滑性および固体潤滑剤シートを介した熱伝達に影響を及ぼす。例えば固体潤滑剤の圧縮、固化および/または酸化のため、温度が高いほどおよび/または鍛造時間が長いほど、シート若しくはシートの積み重ねが厚い方が有用である。様々な実施形態では、本明細書に開示されている固体潤滑剤シートは、鍛造作業の間にワークおよび/または金型の表面上で薄くなることがある。したがって、シートまたはシートのスタックは厚い方がワークの変形が増したときに有用である。

#### 【0029】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは固体グラファイトシートであってもよい。固体グラファイトシートは、グラファイトシートの少なくとも95重量%の黒鉛炭素を含有する。例えば、固体グラファイトシートは、グラファイトシートの少なくとも96%、97%、98%、98.2%、99.5%または99.8%の重量%の黒鉛炭素を含有する。本明細書に開示の方法に適した固体グラファイトシートには、例えば、米国オハイオ州レークウッドのGrafTech Internationalから入手できる柔軟なグラファイト材料であるGrafoil(登録商標)の様々なグレードのものや、米国カリフォルニア州ウッドランドヒルズのHP Materials Solutions, Inc.から入手できるグラファイトのホイル、シート、フェルト等の様々なグレードのもの、米国ニューヨーク州パルミラのGarlock Sealing Technologiesから入手できるGraph-Lock(登録商標)グラファイト材料の様々なグレードのもの

、米国オハイオ州シドニーのThermoseal, Inc.,から入手できる柔軟なグラファイトの様々なグレードのもの、および米国ペンシルバニア州ウェストコンショホッケンのDAR Industrial Products, Inc.,から入手できるグラファイトシート製品の様々なグレードのものが含まれる。

【0030】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、鍛造装置の金型の加工表面、および金型上の潤滑剤シート上に配置されたワークの上に配置することができる。本明細書に用いる金型の「加工表面」は、鍛造作業の間にワークに接触し若しくは接触し得る表面である。例えば、固体潤滑剤シートがプレス鍛造装置の下型上に配置され、ワークが固体潤滑剤シートの上に配置されて、固体潤滑剤シートはワークの底面と下型との間に挿入される。下型上の固体潤滑剤シートの上にワークを配置する前に若しくは後に、追加の固体潤滑剤シートをワークの最上部の表面上に配置できる。あるいは、若しくはさらに、固体潤滑剤シートを鍛造装置の上型の上に配置できる。このようにして、少なくとも一つの追加の固体潤滑剤シートを、ワークの最上部の表面と上型との間に挿入できる。次いで、金型とワークと間の摩擦を減少させつつ、金型の間にあるワークに力を付加してワークを可塑的に変形させると、望ましくない摩擦の影響が減少する。

【0031】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは柔軟であるか若しくは曲げたり、形を付けたり、若しくは輪郭を付けたりすることができる硬いシートであり、鍛造作業の際に金型および/またはワークの形状に合わせることができる。固体潤滑剤シートは、ワークおよび/または鍛造装置の金型の上に配置する前に、曲げたり、形を付けたり、若しくは輪郭を付けたりすることができる。すなわち、予め定められた形状若しくは輪郭に事前に成形することができる。例えば、予め成形する形状には、固体潤滑剤シートの一つ以上の襞（例えば、円柱状ワークの上側の湾曲面上にその縦軸に沿わせてシートを配置することを助けるためのほぼ135度の軸線方向の屈曲や、矩形のワーク上へのシートの配置を助けるための一つ若しくは複数のほぼ90度の屈曲）が含まれる。あるいは、固体潤滑剤シートは、鍛造の前に金型若しくはワークの表面上に固体潤滑剤シートを配置して機械的に固定することを意図して、柔軟な若しくは硬いスリーブ、チューブ、中空円筒若しくは他の幾何学的な形状に成型することができる。

【0032】

固体潤滑剤シートがワークと鍛造装置の金型との間に挿入されるときに、固体潤滑剤シートは金型とワークの間に固体バリヤーを提供することができる。このように、金型は、固体潤滑剤シートを介してワークと間接的に接触し、金型とワークとの間の摩擦を減少させる。固体潤滑剤シートの固体潤滑剤は、比較的低い剪断流動応力値および比較的高い剪断延性値によって特徴づけられるが、それは鍛造の間に固体潤滑剤シートが連続した皮膜として金型とワークの界面に沿って流れるようにする。例えば、様々な実施形態では、本明細書に開示されている固体潤滑剤シートに有用な固体潤滑剤は、例えば、500%以上の剪断延性、および固体潤滑剤を含む固体潤滑剤シートと共に鍛造される材料の剪断流動応力値の20%以下である剪断流動応力値によって特徴づけられる。

【0033】

一例として、グラファイト固体潤滑剤は、積み重ねられたグラフェン層を含む。グラフェン層は、共有結合的に結合された炭素の1原子の厚みの層である。グラファイトのグラフェン層の間の剪断力はきわめて低い。したがって、グラフェン層は、きわめて小さな抵抗力で互いに摺動できる。このように、グラファイトは比較的低い剪断流動応力および比較的高いせん断力延性を示し、鍛造の間にグラファイトシートが連続した皮膜として金型とワークの界面に沿って流れるようにする。六方晶系の窒化硼素、二硫化モリブデンおよび二硫化タングステンには同様の結晶格子構造があり、結晶格子層間のきわめて低い剪断力によって、滑り表面間の抵抗力を最小化し、したがって類似したドライ潤滑特性を示す。

【0034】

鍛造作業の間、固体潤滑剤シートが金型とワークとの間で圧縮されると剪断方向に流れて潤滑性を保持するので、鍛造圧力が付加される場所で固体潤滑剤シートが押し固められると、金型およびワークの表面に機械的に固着し得る。様々な実施形態では、押し固められた若しくは「固められた」固体潤滑剤シートは、ワークまたは金型の上に保持され若しくはその後の鍛造作業または他の作業の前に取り除かれる。

#### 【0035】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、ワークが鍛造装置内に配置される前にワーク上に配置される。例えば、ワークの少なくとも一部の表面を固体潤滑剤シートによって包むことができる。図2A～図2Cは、鍛造の前に固体潤滑剤シート28によって包まれた円筒状ワーク20を示している。図2Aは、固体潤滑剤シート28によってワーク20の外周表面の全体が包まれた状態を示している。図2Bは、固体潤滑剤シート28によってワーク20の外周表面が包まれた状態を示している。固体潤滑剤シートは、図2Bのワーク20の端面には配置されない。図2Cは、ワーク20の円柱状の表面21を見るために固体潤滑剤シート28の一部が取り除かれた図2Bのワーク20を示している。

10

#### 【0036】

様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、ワークが鍛造装置に配置される前に、鍛造装置の一つ若しくは複数の金型の上に配置される。様々な実施形態では、片面粘着の固体潤滑剤シートは、鍛造の前にワークおよび/または金型上に配置される。あるいは、固体潤滑剤シートは、鍛造作業の間に固体潤滑剤シートの適切な位置決めをより適切に確保するために、ワークおよび/または金型上に別個の接着剤で固定することができる。鍛造作業が、鍛造装置の二つ以上の行程を含む実施形態では、任意の二つの行程の間に、金型表面とワーク表面との間に追加の固体潤滑剤シートを挿入することができる。

20

#### 【0037】

本明細書に開示された鍛造潤滑方法は、潤滑性が増強しおよび鍛造性が有利な任意の鍛造作業に適用できる。例えば、本明細書に開示された鍛造潤滑法は自由鍛造、閉塞鍛造、前方押出、後方押出、ラジアル鍛造、アップセット鍛造、およびドロースタック鍛造(draw forging)に適用できるが、それに限定されない。加えて、本明細書に開示された鍛造潤滑法は、ネットシェイプおよびニアネットシェイプ鍛造の作業に適用することができる。

#### 【0038】

図3A～3Dは、オープンフラットダイプレス鍛造作業を示している。図3Aおよび図3Cは固体潤滑剤シートのない鍛造作業を示し、図3Bおよび図3Dは本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一の鍛造作業を示している。上型34は、それらの第一の高さから鍛造の高さまでワーク30を圧縮する。押圧力は、上型34と下型36によってワーク30に付加される。ワーク30の材料は非圧縮性である。したがって第一のワーク30と鍛造されたワーク30a、30bの体積は等しい。潤滑剤がないと、図3Cに示されている鍛造後のワーク30aは均一に変形せず、32aでワーク30と金型34、36との間の比較的高い摩擦によってバレルリングを呈する。

30

#### 【0039】

図3Bに示したように、固体潤滑剤シート38は、ワーク30と上下の金型34、36との間にそれぞれ配置される。固体潤滑剤シート38が下型36の上に配置され、ワーク30が潤滑剤シート38の上に配置される。追加の固体潤滑剤シート38は、ワーク30の上面の上に配置される。固体潤滑剤シート38は柔軟であり、かつワーク30を覆うように配置できる。固体潤滑剤シート38によって、ワーク30と金型34、36との間の摩擦が減少するので、図3Dに示されている鍛造されたワーク30bはより均一に変形し、かつ32bでのバレルリングはより少ない。

40

#### 【0040】

図4A～図4Fは、V字型の金型による自由鍛造の作業を示している。図4A、図4Cおよび図4Eは固体潤滑剤シートを使用しない鍛造作業を示し、図4B、図4Dおよび図4Fは本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用した同一の鍛造作業を示している。図4Aおよび図4Bは、V字型の金型のキャビティに対し中心を外して配置された

50

ワーク 40 を示している。図 4 B に示されているように、固体潤滑剤シート 48 はワーク 40 と上下の金型 44、46 との間に配置されている。固体潤滑剤シート 48 が下型 46 の上に配置され、かつワーク 40 が固体潤滑剤シート 48 の上に配置されている。追加の固体潤滑剤シート 48 がワーク 40 の最上部の表面の上に配置されている。固体潤滑剤シート 48 は柔軟であり、下型 46 の V 字型キャビティの輪郭に合うように、かつワーク 48 を覆うように配置することができる。

【 0 0 4 1 】

図 4 C および図 4 D は、ワーク 40 がちょうど上型 44 と接触し、圧力がワーク 40 に付加され始めている状態を示している。図 4 C に示されているように、押圧行程の間、上型 44 が潤滑を用いないワーク 40 に接触するので、ワーク 40 および金型 44、46 の接触面間の高い摩擦によりワークが 47 に金型に固着する。この現象は「ダイロッキング」と呼ぶことができるが、輪郭が付けられた金型表面を伴う鍛造作業では特に望ましくなく、中心を外れて配置されたワークはダイロックし、金型の輪郭に倣うように適切に変形しない。

【 0 0 4 2 】

潤滑を使用しない鍛造作業の押圧行程の間、押圧力が固着した摩擦力を上回るまでワークはダイロックすることがある。潤滑を使用しない鍛造作業では、押圧力が固着摩擦力を上回るときに、ワークは鍛造装置の内部へと急激に加速する。例えば、図 4 C に示したように、ワーク 40 と金型 44、46 との間の（47 に示されている）固着摩擦力を押圧力が上回ると、ワーク 40 は、矢印 49 で示したように、金型 46 の V 字型キャビティの中心へと下方に向けて急激に加速する。

【 0 0 4 3 】

鍛造装置の内部のワークの急激な加速は、ワーク、鍛造装置若しくはその両方に損傷を与え得る。例えば、押圧力が固着摩擦力を上回ると、ワークおよび / または金型が摩損する。すなわち、ダイロッキングの間に焼き付いていた局所的な接触領域（例えば、図 4 C の領域 47）から材料が不必要に取り除かれる。更に、ワークが鍛造装置の内側で加速すると、鍛造されたワークは損傷し、擦り傷が付き、欠損し、亀裂が入り、および / または破壊する。ダイロッキングはまた、鍛造された製品の寸法制御を保持する能力に悪影響を及ぼす。加えて、鍛造装置の内部における急速な動きは、鍛造装置の部品の表面に強力な衝撃を与えると同時に、鍛造装置を揺さぶり、鍛造装置に損傷を与えて鍛造装置の部品の寿命を短くする。

【 0 0 4 4 】

固体潤滑剤シートを用いた鍛造作業の押圧行程の間、中心を外れたワークは、摩擦の減少によってダイロッキングが起こらない。固体潤滑剤シートは、固着摩擦を大幅に減少させるか若しくはなくす。したがって、ワークの許容できないほどの急激な加速は発生しない。その代わりに、上型がワーク若しくはワーク上の潤滑剤シートに接触するので、比較的滑らかな自己中心合わせ動作が発生する。例えば、図 4 D に示したように、上型 44 がワーク 40 に接触すると、固体潤滑剤シート 48 は固着摩擦力を大幅に減少させ若しくはなくすと共にすべり摩擦を減少させるので、ワーク 40 は滑らかに自ら中心合わせして金型 46 の V 字型キャビティ内に下降する。

【 0 0 4 5 】

図 4 E および図 4 F は、潤滑剤無しかつ固体潤滑剤シート 48 有りで鍛造されたワーク 40 a、40 b をそれぞれ示している。図 4 E に示されている鍛造されたワーク 40 a は、潤滑剤のない鍛造の間に均一に変形せず、ワーク 40 と金型 44、46 との間の比較的高い摩擦により、42 a でバレルリングを呈している。図 4 F に示されている鍛造されたワーク 40 b は、固体潤滑剤シート 48 を用いた鍛造の間に均一に変形し、ワーク 40 と金型 44、46 との間の摩擦が減少したことによって、42 b でバレルリングがより少ないことを示している。

【 0 0 4 6 】

図 5 A および図 5 B はラジアル鍛造作業を示している。図 5 A は固体潤滑剤を使用しな

10

20

30

40

50

いラジアル鍛造作業を示しており、図 5 B は本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを使用する同一のラジアル鍛造作業を示している。円柱状ワーク 5 0 の直径は、金型 5 4、5 6 に対して長手方向に移動するワーク 5 0 に対し半径方向に移動する金型 5 4、5 6 によって減少する。図 5 A に示したように、潤滑剤を用いずに実行されるラジアル鍛造動作は、5 2 a で示したように均一に変形しない場合がある。図 5 B に示されているラジアル鍛造作業は、本明細書に開示の方法に従い、ワーク 5 0 を包む固体潤滑剤シート 5 8 と共に実行される。例えば、ワーク 5 0 は、図 2 A 若しくは図 2 B に示したように固体潤滑剤シート 5 8 で包むことができる。図 5 B に示されているように、固体潤滑剤シートと共に実行されるラジアル鍛造動作は、5 2 b に示されているように、より均一に変形し得る。

10

#### 【0047】

図 6 A ~ 6 D は、密閉金型プレス鍛造作業を示しているが、ネットシェイプ若しくはニアネットシェイプ鍛造作業とすることができる。図 6 A および図 6 C は、固体潤滑剤シートを使用しない密閉金型プレス鍛造作業を示しており、図 6 B および図 6 D は、本明細書に開示の方法に係る固体潤滑剤シートを用いた同一の鍛造作業を示している。上型またはパンチ 6 4 は、下型 6 6 の金型キャビティ内へとワーク 6 0 を圧縮する。図 6 C に示されているワーク 6 0 a は、ワーク 6 0 と下型 6 6 との間の摩擦が比較的高いため、潤滑剤を使用しない鍛造の間に均一に変形せず、6 2 で示したように金型キャビティを完全には充填しない。これは特に、鍛造されたワークが完全に成形された製品であること、またはその後の鍛造または機械加工がほとんど若しくは全くないほぼ成形された製品であることが意図されるネットシェイプおよびニアネットシェイプ密閉鍛造作業では問題となる。

20

#### 【0048】

図 6 B に示したように、ワーク 6 0 は固体潤滑剤シート 6 8 で包まれている。固体潤滑剤シート 6 8 は柔軟で、ワーク 6 0 の表面に追従する。図 6 D に示されているワーク 6 0 b は、固体潤滑剤シート 6 8 によって減少した摩擦により、より均一に変形し、密閉金型 6 4、6 6 の輪郭付けされた表面およびキャビティに完全に合う。

#### 【0049】

様々な実施形態では、本明細書に開示された固体潤滑剤シートは、別個の絶縁シート組み合わせて用いることができる。本明細書に用いる「絶縁シート」は、鍛造装置の金型の加工表面からワークを熱的に絶縁することを意図した固体材料のシートである。例えば、この絶縁シートは固体潤滑剤シートとワーク表面との間に配置することができ、および/または絶縁シートは固体潤滑剤シートと金型表面との間に配置することができ、加えて、絶縁シートは、2 枚の固体潤滑剤シートの間に挟むことができるとともに、挟まれたシートはワークと鍛造装置の金型との間に配置することができる。図 7 A ~ 図 7 D は、ワーク 7 0 および鍛造装置の金型 7 4、7 6 に対する固体潤滑剤シート 7 8 および絶縁シート 7 5 の様々な配置を示している。

30

#### 【0050】

図 7 A は、下型 7 6 の加工表面上に配置された固体潤滑剤シート 7 8 を示している。ワーク 7 0 は、下型 7 6 上の固体潤滑剤シート 7 8 の上に配置されている。このように、固体潤滑剤シート 7 8 は、ワーク 7 0 の底面と下型 7 6 との間に配置される。絶縁シート 7 5 はワーク 7 0 の上面の上に配置される。

40

#### 【0051】

図 7 B は、プレス鍛造装置の下型 7 6 の加工表面上に配置された絶縁シート 7 5 を示している。ワーク 7 0 は、固体潤滑剤シート 7 8 で包まれている。包まれたワーク 7 0 は、下型 7 6 上にある絶縁シート 7 5 の上に配置されている。このように、固体潤滑剤シート 7 8 および絶縁シート 7 5 は、ワーク 7 0 の底面と下型 7 6 との間に配置される。絶縁シート 7 5 は、固体潤滑剤シート 7 8 と下型 7 6 との間に配置されている。もうひとつの絶縁シート 7 5 は、ワーク 7 0 の上面の上に、固体潤滑剤シート 7 8 の上に配置されている。このように、固体潤滑剤シート 7 8 および絶縁シート 7 5 は、ワーク 7 0 の上面と上型 7 4 との間にも配置されている。絶縁シート 7 5 は、固体潤滑剤シート 7 8 と上型 7 4 と

50

の間に配置されている。

【 0 0 5 2 】

図 7 C は、上型 7 4 および下型 7 6 の加工表面上に配置された固体潤滑剤シート 7 8 を示している。絶縁シート 7 5 は、下型 7 6 上の固体潤滑剤シート 7 8 の上に配置されている。ワーク 7 0 を絶縁シート 7 5 の上に配置すると、絶縁シート 7 5 および固体潤滑剤シート 7 8 の両方がワークと下型 7 6 との間に配置される。もうひとつの絶縁シート 7 5 をワーク 7 0 の上面の上に配置すると、絶縁シート 7 5 および固体潤滑剤シート 7 8 がワークと上型 7 4 との間に配置される。

【 0 0 5 3 】

図 7 D は、上型 7 4 および下型 7 6 の加工表面上に配置される固体潤滑剤シート 7 8 を示している。絶縁シート 7 5 は、下型 7 6 上の固体潤滑剤シート 7 8 の上に配置されている。ワーク 7 0 は固体潤滑剤シート 7 8 で包まれている。ワーク 7 0 を絶縁シート 7 5 上に配置すると、3つの層、すなわち固体潤滑剤シート 7 8、絶縁シート 7 5 およびもうひとつの固体潤滑剤シート 7 8 がワーク 7 0 と下型 7 6 との間に配置される。さらなる絶縁シート 7 5 をワーク 7 0 の上面にある固体潤滑剤シートの上に配置すると、3つの層、すなわち固体潤滑剤シート 7 8、絶縁シート 7 5 および追加の固体潤滑剤シート 7 8 が、ワーク 7 0 と上型 7 4 との間に配置される。

【 0 0 5 4 】

ワークおよび鍛造装置の金型に対する固体潤滑剤シートおよび絶縁シートの様々な配置を本明細書に記載し図示したが、開示された方法の実施形態は、明確に開示された配置に限定されない。したがって、ワークおよび金型に対する固体潤滑剤シートおよび絶縁シートの様々な他の配置が本開示により考えられる。同様に、固体潤滑剤シートおよび/または絶縁シートを配置する様々な技術および技術の組合せ(例えば、敷設、布掛け、包装、固着等)が本明細書に開示されているが、開示された方法は、明確に開示された配置技術および配置技術の組合せに限定されない。例えば、ワークを鍛造装置内に配置する前および/または後に、ワークおよび金型に対して固体潤滑剤シートおよび/または絶縁シートを付加して配置するべく、敷設、布掛け、包装、固着等のその他の様々な組み合わせを用いることができる。

【 0 0 5 5 】

絶縁シートは、柔軟であり、キャビティの内部や鍛造金型および/またはワークの輪郭および平坦でない表面上に配置することができる。様々な実施形態では、絶縁シートは、織って作った若しくは織って作られていないセラミック繊維の毛布、マット、紙、フェルト等から構成できる。絶縁シートは、セラミック繊維(例えば、金属酸化物の繊維)および残余の不純物から構成できるが、バインダ若しくは有機添加剤は含まない。例えば、適切な絶縁シートは、主にアルミナおよびシリカファイバの混合物と、より少ない量の他の酸化物から構成できる。本明細書に開示の方法に適しているセラミック繊維の絶縁シートには、例えば、米国ニューヨーク州ナイアガラフォールズのUnifraxから入手できるFiber frax(登録商標)材料がある。

【 0 0 5 6 】

様々な実施形態では、複数の固体潤滑剤シートを含むサンドイッチ構造をワークと鍛造装置の金型との間に配置することができる。例えば、固体潤滑剤シートの二つ若しくはより多くの層を含むサンドイッチ構造を、ワークと鍛造装置の金型との間に配置できる。サンドイッチ構造は、一つ若しくは二つ以上の絶縁シートを含むことができる。加えて、より広い領域を覆うために、複数の固体潤滑剤シートを付加することができる。例えば、個々の固体潤滑剤シートがカバーできるよりもより多くの表層領域を覆うために、二つ以上の固体潤滑剤シートを金型および/またはワークに付加することができる。このように、二つ若しくは二つ以上の固体潤滑剤シートを、重なり合う若しくは重なり合わないやり方で金型および/またはワークに付加することができる。

【 0 0 5 7 】

本明細書に開示される潤滑法は、冷間、温間、および任意の温度での熱間鍛造作業に適

10

20

30

40

50

用することができる。例えば、固体潤滑剤シートは、ワークと周囲温度で鍛造が起こる鍛造装置の金型との間に配置できる。あるいは、ワークと金型との間に固体潤滑剤シートを配置する前若しくは後に、ワーク若しくは金型を加熱することができる。様々な実施形態では、固体潤滑剤シートを金型に付加する前若しくは後に、鍛造装置の金型をトーチで加熱することができる。固体潤滑剤シートをワークに付加する前に若しくは後に、ワークを炉で加熱することができる。

#### 【0058】

様々な実施形態では、ワークが華氏1000度より高い温度にあるときにワークを可塑的に変形させることができるが、固体潤滑剤シートはその温度でも潤滑性を保持する。様々な実施形態では、ワークが華氏1000度～華氏2000度の範囲の温度にあるときに、若しくは華氏1000度～華氏1600度、若しくは華氏1200度～華氏1500度といった任意の部分範囲にあるときに、ワークを可塑的に変形させることができるが、固体潤滑剤シートはその温度でも潤滑性を保持する。

10

#### 【0059】

本明細書に開示の方法は、確固とした鍛造潤滑法を提供する。様々な実施形態では、固体潤滑剤シートは、第一の鍛造作業の間に固体潤滑剤のコーティングを金型に堆積させることができる。堆積した固体潤滑剤のコーティングは、第一の鍛造作業および一つ若しくは複数のその後の鍛造作業でも残存し得る。金型上に残存している固体潤滑剤コーティングは、潤滑性を保持すると共に、同一のワークおよび/または異なるワークにおける一つ若しくは複数の追加の鍛造作業に対し、固体潤滑剤シートを追加する必要なしに有効な鍛造潤滑を提供し得る。

20

#### 【0060】

様々な実施形態では、固体潤滑剤のコーティングを金型に堆積させる第1の鍛造作業の前に固体潤滑剤シートをワークと金型との間に配置できるとともに、予め定められた数の鍛造作業の後に追加の固体潤滑剤シートを付加できる。このように、固体潤滑剤シートを付加するデューティサイクルは、許容できる潤滑性および鍛造潤滑を保持しつつ固体潤滑剤シートの追加の付加なしに実行できる鍛造作業の数に関して確定することができる。追加の固体潤滑剤シートは、各デューティサイクルの後に付加できる。様々な実施形態では、第一の固体潤滑剤コーティングを金型に堆積させるために第一の固体潤滑剤シートを比較的厚いものとし、堆積させた固体潤滑剤のコーティングを維持するためにその後に付加する固体潤滑剤シートを比較的薄いものとすることができる。

30

#### 【0061】

本明細書に開示の方法は、例えばチタン、チタン合金、ジルコニウムおよびジルコニウム合金といった様々な金属材料の鍛造に適用できる。加えて、本明細書に開示の方法は、合金材料、非金属の変形可能な材料、および金属でセラミックをカプセル化したマルチ部品システムの鍛造に適用できる。本明細書に開示の方法は、例えばインゴット、ピレット、バー、プレート、チューブ、焼結プレフォーム等、様々なタイプのワークの鍛造に適用できる。本明細書に開示の方法は、成形された若しくはほとんど成形された物品のネットシェイプ若しくはニアネットシェイプ鍛造にも適用できる。

40

#### 【0062】

様々な実施形態では、本明細書に開示された潤滑法は、0.50以下、0.45以下、0.40以下、0.35以下、0.30以下、0.25以下、0.20以下、0.15以下、または0.10以下の剪断係数(m)によって特徴づけることができる。様々な実施形態では、本明細書に開示された潤滑法は、0.05～0.50の範囲若しくはその部分範囲、例えば0.09～0.15の剪断係数によって特徴づけることができる。このように、本明細書に開示された潤滑法は、鍛造作業において、金型とワークとの間の摩擦を実質的に減少させる。

#### 【0063】

様々な実施形態では、本明細書に開示された潤滑法は、ダイロッキング、固着、および/または鍛造作業でのワークの摩損の発生を減少させ若しくはなくすことができる。鍛造

50

作業に絶縁シートを用いるときに液状若しくは粒状の潤滑剤は容易に付加されないが、開示された潤滑法は、絶縁シートの同時使用を可能にし、ワークから金型への熱損失を実質的に減少させる。液状若しくは粒状の潤滑剤は金型およびワークの表面上で減少すると共に各鍛造作業の後に分散する傾向があるが、固体潤滑剤シートは鍛造作業での金型とワークとの間に安定したバリヤーを生成できる。固体潤滑剤、例えばグラファイト、二硫化モリブデン、二硫化タングステンおよび窒化硼素は、概ね化学的に不活性であり、金属製の金型およびワークに対して鍛造条件の下では非摩耗性である。

#### 【 0 0 6 4 】

様々な実施形態では、鍛造作業の間に固体潤滑剤シートから金型およびワークに堆積した固体潤滑剤を取り除くことができる。例えば、堆積したグラファイトは、例えば炉内の酸化性雰囲気中で加熱することによって、金型およびワークの表面から容易に取り除くことができる。堆積した固体潤滑剤はまた、洗浄処理によって取り除くこともできる。

10

#### 【 0 0 6 5 】

以下の例証である非限定的な実施例は、実施形態の範囲を限定することなしに、様々な非限定的な実施形態をさらに記載することを意図したものである。当業者は、請求の範囲によって定められる本発明の範囲内で、実施例の変更が可能であることを理解するであろう。

#### 【 0 0 6 6 】

##### 実施例 1

Ti-6Al-4V合金 (ASTM 等級 5) の自由金型プレス鍛造について固体グラファイトシートの潤滑性および潤滑剤としての有効性を評価するために、リング圧縮テストを用いた。リング圧縮テストは、例えば、Atlan et al., Metal Forming: Fundamentals and Applications, Ch.6. Friction in Metal Forming, ASM: 1993に全般的に記載されている。なお、これは参照によって本明細書に組み込まれる。システムの剪断係数 (m) として定量化される潤滑性は、平坦な環状の試験品を予め定められた高さに減少するまで圧縮するリング圧縮試験を用いて測定した。圧縮リングの内径および外径の変化は、金型 / 試験品の界面の摩擦に依存している。

20

#### 【 0 0 6 7 】

リング圧縮試験の全般的な構成が図 8 に示されている。(断面が示されている) リング 80 は、2つの金型 84、86 の間に配置され、第一の高さから変形した高さへと軸線方向に圧縮された。リング 80 と金型 84、86 との間に摩擦が存在しない場合、リング 80 は、中立面 83 から半径方向外側に流動する材料とともに固体の円板として、矢印 81 で示される軸線方向に沿って一定の速度で変形する。圧縮前のリングが図 9 (a) に示されている。摩擦が無い場合摩擦が最小の圧縮ではバレルリングは発生しない (図 9 b)。圧縮リングの内径は、摩擦が比較的小さい場合は増加し (図 9 c)、摩擦が比較的高い場合は減少する (図 9 d および図 9 e)。図 10 A は、圧縮前のリング状試験片 100 の断面を示している。図 10 B は、比較的小さい摩擦条件で圧縮されたリング 100 を示している。図 10 C は、比較的高い摩擦条件で圧縮されたリング 100 を示している。

30

#### 【 0 0 6 8 】

圧縮されたリングの内径の変化は、バレルリングした内側の膨れの頂部の間で測定されるとともに、様々な剪断係数を用いて予測された内径の値と比較する。圧縮されたときの内径と剪断係数との間の相関は、例えば、バレルリングするリング圧縮に予め定められた材料のメタルフローを予め定められた鍛造条件下でシミュレーションするコンピュータを使用する有限要素法 (FEM) を用いて明らかにすることができる。このように、剪断係数は、摩擦、伸び、テストされたシステムの潤滑性を特徴づけるリング圧縮試験について明らかにすることができる。

40

#### 【 0 0 6 9 】

Ti-6Al-4V合金 (ASTM 等級 5) の内径が 1.25 インチ、外径が 2.50 インチ、および高さが 1.00 インチのリングをリング圧縮テストに用いた (図 11 A および図 11 B) このリングは華氏 1200 ~ 1500 度の温度まで加熱され、自由プレス鍛造装置

50

で 0.50 インチの変形高さに圧縮された。圧縮された内径 (ID) と剪断係数 (m) との間の相関は、米国オハイオ州コロンバスの Scientific Forming Technologies 社から入手可能な金属成形プロセスシミュレーションソフトウェアである DEFORM (登録商標) を用いて明らかにした。この相関を、図 12 に提示したグラフに示す。

#### 【 0 0 7 0 】

リングは、( 1 ) 潤滑剤なしの華氏 400 ~ 600 度の金型間、( 2 ) ガラス潤滑剤 (米国オハイオ州シンシナティの Advanced Technical Products から入手できる ATP 300 ガラスフリット) ありの華氏 400 ~ 600 度の金型間、( 3 ) 潤滑剤なしの華氏 1500 度の金型間、( 4 ) ガラス潤滑剤ありの華氏 1500 度の金型間、および ( 5 ) 米国ペンシルバニア州ウェストコンショホッケンの DAR Industrial Products から入手可能な固体潤滑剤シート (等級 B のグラファイトシート (> 98 重量%のグラファイト) ありの華氏 400 ~ 600 度の金型間で圧縮した。ガラス潤滑剤は、使用時に、リングを炉内で鍛造温度まで加熱する前に、ガラスフリットの層を配置して滑らかにすることによって下型の上面およびリングの上面に付加した。固体潤滑剤シートは、使用時に、下型とリングの底面との間およびリングの上面の上に配置した。圧縮された内径および対応する剪断係数を、下記の表 1 に表す。

#### 【 表 1 】

表 1

	条件	内径(インチ)	剪断ファクター
1	華氏400度~600度の金型、潤滑無し	0.47	>0.6
2	華氏400度~600度の金型、ガラス潤滑	0.47	>0.6
3	華氏1500度の金型、潤滑無し	0.51	>0.6
4	華氏1500度の金型、ガラス潤滑	1.26, 1.38	0.14, 0.10
5	環境温度の金型、固体潤滑剤シート	1.37	0.10

#### 【 0 0 7 1 】

条件 1 および 2 の下で圧縮されたリングの内径は 62.4 % 減少し、条件 3 の下で圧縮されたリングの内径は 59.2 % 減少した。これは、リングと金型との間のきわめて高い摩擦を示している。このシステムについて、0.6 より大きい剪断係数は、剪断係数と内径との間の相関が  $m = 0.6$  を超えて漸近線に接近するため、リング圧縮試験を用いて正確に測定するのが困難である。しかしながら、条件 1 ~ 3 で圧縮されたリングの内径の大幅な減少は、この条件については 0.6 が最も低い剪断係数であることを示しており、実際の剪断係数は 0.6 より大きいように思われる。

#### 【 0 0 7 2 】

条件 4 および 5 で圧縮されたリングの内径は増加し、約 0.1 の剪断係数に対応して摩擦が大幅に減少したことを示している。固体潤滑剤シートは、ガラス潤滑剤によってもたらされた潤滑に匹敵する若しくはそれ以上の潤滑を与えた。高温時の高い潤滑性 ( $m = 0.1$ ) は、グラファイトによる潤滑性は高温時に大幅に減少することが知られているため、予想外でありかつ意外であった。一般的に、グラファイトの摩擦係数 ( $\mu$ ) は、華氏で約 700 度を超えると急速に増加する。このように、冷えた金型とリングとの間の固体グラファイトシートの剪断係数 ( $m$ ) は、華氏 1200 ~ 1500 度の温度では、0.1 を大幅に超えることが予想された。

#### 【 0 0 7 3 】

ガラス潤滑剤には鍛造作業に用いるときに多くの欠点があり得るため、固体潤滑剤シートの有効性もまた重要である。例えば、ガラス潤滑剤は、固体表面の間に潤滑を与えるには、溶けた状態でかつ粘性が十分に低くなければならない。このように、ガラス潤滑剤は、華氏 1500 度以下の鍛造温度若しくは冷えた金型に接触するときには、有効な潤滑性

を与えることができない。ガラスのガラス化温度を低下させるある方法には、鉛のような有毒な金属の使用がある。有毒な金属を含んでいるガラス潤滑剤は、鍛造潤滑剤としては不適当であると考えられる。ガラス潤滑剤は、鍛造のためにワークを加熱する前に、専門の装置を用いてワーク上にスプレーしなければならない。ガラス潤滑剤は、鍛造作業の全体にわたって溶けた状態を保持しなければならない、それは鍛造の前にワーク上に堆積し得るガラス潤滑剤コーティングの厚さを制限する。

#### 【 0 0 7 4 】

更に、高温の溶融ガラスは、ワークの輸送および取扱いを妨げる。例えば、熱いワークを保持して操作するために用いるグリップは、加熱炉若しくは潤滑剤付加装置から鍛造装置へと移動するときに、高温のガラスで潤滑されたワーク上でスリップすることが多い。更に、ガラス潤滑剤は、鍛造の後に製品を冷却するときに凝固すると共に、脆い凝固ガラスに応力が生じると、固体のガラスは激しく破損し破片となって鍛造された製品から剥落し得る。加えて、鍛造後に製品を冷却するときに凝固する残ったガラス潤滑剤は、機械的な方法によって、取り除かなければならず、鍛造歩留を減少させ得るとともに、汚染されたスクラップ材を生じさせ得る。

#### 【 0 0 7 5 】

固体潤滑剤シートは、ガラス潤滑剤の上述した問題を解決する。固体潤滑剤シートは、鍛造作業の全体にわたって固体の状態を保持し、金型および/またはワークを加熱する前もしくは後に付加できる。固体の潤滑剤シートは、いかなる特殊な付加若しくは取扱い技術をも必要とせず、手で配置することができ、より制御されたおよび/または目標を定めた付加を可能にする。残った固体潤滑剤は、炉による加熱を用いておよび/または洗浄処理によって、容易に取り除くことができる。固体潤滑剤シートは、ワークを鍛造装置内に置く前に、直接金型に付加できる。固体潤滑剤シートは、鍛造装置内に配置後にワークに直接付加できる。加えて、固体潤滑剤シートは、柔軟でありおよび/または延性があり得る。したがって、鍛造後に冷却される製品から剥落することはほとんどない。

#### 【 0 0 7 6 】

##### 実施例 2

Ti-6Al-4V合金 (ASTM 等級 5) の円柱状ピレットは、V字状の金型を備えた 1000 トン自由プレス鍛造機で、固体潤滑剤シート有りおよび無しでプレス鍛造した。ピレットは、華氏 1300 度まで、炉内で加熱された。プレス鍛造の金型は、トーチで華氏 400 ~ 600 度に予熱された。ピレットは、マニピュレータにより炉から取り出されて、下側の V 字状金型上に配置した。マニピュレータの制約により、ピレットは下側の V 字状金型の輪郭に対し中心から外れて配置した。固体潤滑剤シートを用いた鍛造作業のために、等級 HGB のグラファイトシート (99 重量%のグラファイト、米国カリフォルニア州ウッドランドヒルズの HP Materials Solutions 社から入手可能) を、ピレットを金型上に配置する直前に下型の上に配置した。第 2 の固体潤滑剤シートを、ピレットの上面の上に配置した。このように、固体潤滑剤シートは、ピレットとプレス鍛造機の下型および上型の両方の間に配置した。

#### 【 0 0 7 7 】

潤滑剤無しのピレットのプレス鍛造の間、プレスによって、生じる力が摩擦を上回るまでピレットが下型にダイロックしたことが観察され、その時点ではピレットが下型の V 字型の輪郭の内部へと急激に加速し、大きい音を生じさせてプレス鍛造機の全体を揺さぶった。固体潤滑剤シートを用いたピレットのプレス鍛造の間、自らセンタリングする作用が観察され、いかなるダイロッキングも、急激な加速も、大きな音若しくはプレス鍛造機の揺れもなしに、ピレットは滑らかに下型の V 字型の輪郭内に移動した。

#### 【 0 0 7 8 】

第一の固体グラファイトシートは、第一の鍛造作業の間に、下型上に固体グラファイトのコーティングを堆積させた。堆積したグラファイトのコーティングは、第一のプレス作業およびその後の複数のプレス作業でも残存した。堆積したグラファイトコーティングは潤滑性を保持し、追加の固体グラファイトシートを付加する必要なしに、複数のプレス作

業にわたってピレットの様々な部分に有効な鍛造潤滑を与えた。一つの第一の固体グラファイトシートは、その後のプレス作業について、ダイロッキングを防止した。

【 0 0 7 9 】

本開示は、様々な例示的で、例証となる、非限定的な実施形態に関して記載してきた。しかしながら、当業者は、開示された実施形態（またはその部分）の様々な置換、変更または組合せを本発明の範囲内でなし得ることを認識するであろう。したがって、本明細書に明示的に記載されていない追加の実施形態を本開示が包含することは、予測されかつ理解される。このような実施形態は、本明細書に記載された実施形態に開示された工程、部品、要素、特色、態様、特徴、限定等のいずれかを、組み合わせ、修正し、再編成することによって得ることができる。このように、出願人には、出願手続きの間、本明細書に様々な記載された特色を追加するために請求の範囲を補正する権利がある。[ 発明の態様 ]

10

[ 1 ]

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置し、ワークを可塑的に変形させるために金型により前記ワークに力を付加することを特徴とする鍛造潤滑方法。

[ 2 ]

鍛造中の金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 5 0 未満であることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 3 ]

鍛造中の金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 2 0 未満であることを特徴とする 1 に記載の方法。

20

[ 4 ]

鍛造中の金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 1 5 未満であることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 5 ]

鍛造中の金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 0 5 ~ 0 . 5 0 の範囲であることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 6 ]

鍛造の間における金型とワークとの間の剪断係数が 0 . 0 9 ~ 0 . 2 0 の範囲であることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 7 ]

前記固体潤滑剤シートが、グラファイト、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、および窒化硼素からなる群より選択される固体潤滑剤材料を含む 1 に記載の方法。

30

[ 8 ]

固体の潤滑剤シートが固体グラファイトのシートであることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 9 ]

ワークと鍛造装置の金型との間に固体の潤滑剤シートを配置することに、金型の表面上に前記固体潤滑剤シートを配置すること、および前記固体潤滑剤シート上に前記ワークを配置することを含むことを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 0 ]

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置することに、下型の表面上に前記固体潤滑剤シートを配置すること、および前記固体潤滑剤シートの上に前記ワークを配置することを含み、前記固体潤滑剤シートが前記ワークの底面と前記鍛造装置の下型との間に配置されることを特徴とする 1 に記載の方法。

40

[ 1 1 ]

前記ワークの上面上に追加の固体潤滑剤シートを配置することをさらに含むことを特徴とする 1 0 に記載の方法。

[ 1 2 ]

ワークと鍛造装置の金型との間に固体潤滑剤シートを配置することに、前記ワークを鍛造装置に入れる前に前記固体潤滑剤シートを前記ワーク上に配置することを含むことを特徴

50

とする 1 に記載の方法。

[ 1 3 ]

ワークと前記鍛造装置の金型との間に前記固体潤滑剤シートを配置する前に、前記金型を加熱することをさらに含むことを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 4 ]

前記ワークを可塑的に変形させるために前記ワークに前記金型により力を付加することは、前記ワークが華氏 1 0 0 0 度より高い温度にあるときに生じることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 5 ]

前記ワークを可塑的に変形させるために前記ワークに前記金型により力を付加することは、前記ワークが華氏 1 0 0 0 度～華氏 2 0 0 0 度の範囲にあるときに生じることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 6 ]

前記ワークを可塑的に変形させるために前記ワークに前記金型により力を付加することは、前記ワークが華氏 1 0 0 0 度～華氏 1 6 0 0 度の範囲にあるときに生じることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 7 ]

前記ワークは、自由鍛造、閉塞鍛造、前方押出、後方押出、ラジアル鍛造、アップセット鍛造、およびドロウ鍛造(drawforging)をからなる群より選択される鍛造プロセスで可塑的に変形されることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 8 ]

前記ワークは、ニアネットシェイプ鍛造プロセスにおいて、可塑的に変形されることを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 1 9 ]

前記ワークがチタン合金を含むことを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 2 0 ]

前記ワークがジルコニウム合金を含むことを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 2 1 ]

前記ワークを可塑的に変形させた後、残余の固体潤滑剤を前記ワークから取り除くことをさらに含むことを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 2 2 ]

前記固体潤滑剤シートは、前記ワークが前記金型に対してダイロッキングすることを防止することを特徴とする 1 に記載の方法。

[ 2 3 ]

チタン、チタン合金、ジルコニウム若しくはジルコニウム合金を含むワークと鍛造装置の金型との間に固体グラファイトシートを配置すると共に、前記ワークを可塑的に変形させるために前記金型により前記ワークに力を付加することを含む鍛造潤滑方法であって、鍛造中に前記ワークが華氏 1 0 0 0 度～華氏 2 0 0 0 度の範囲の温度にあり、かつ鍛造中に前記金型と前記ワークとの間の剪断係数が 0 . 5 0 未満であることを特徴とする方法。

[ 2 4 ]

鍛造中に前記ワークが華氏 1 0 0 0 度～華氏 1 6 0 0 度の範囲の温度にあり、かつ鍛造中に前記金型と前記ワークとの間の剪断係数が 0 . 0 9 ～ 0 . 2 0 の範囲にあることを特徴とする 1 9 に記載の方法。

10

20

30

40

【図 1 A】

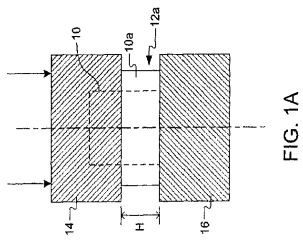


FIG. 1A

【図 1 B】

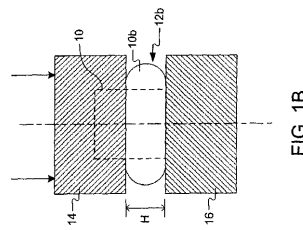


FIG. 1B

【図 2 A】

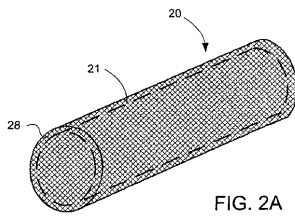


FIG. 2A

【図 2 B】

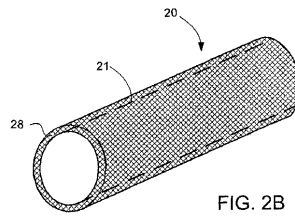


FIG. 2B

【図 2 C】

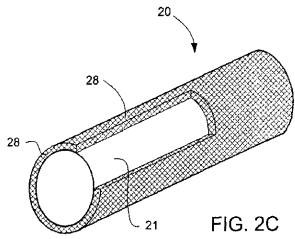


FIG. 2C

【図 3 A】

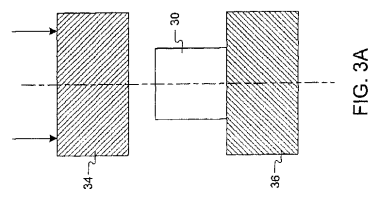


FIG. 3A

【図 3 B】

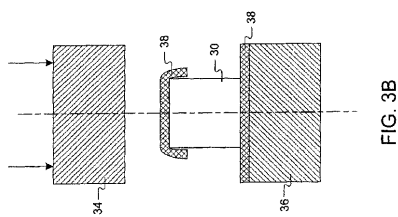


FIG. 3B

【図 3 C】

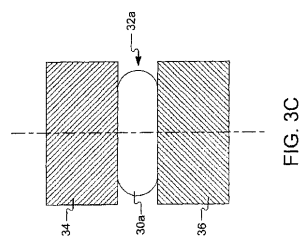


FIG. 3C

【図 3 D】

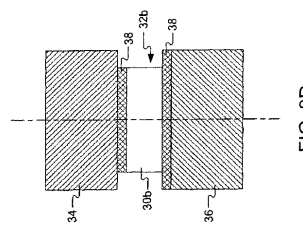


FIG. 3D

【図 4 A】

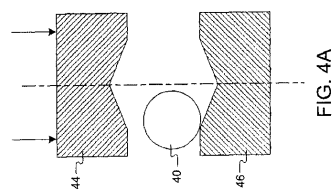


FIG. 4A

【図 4 B】

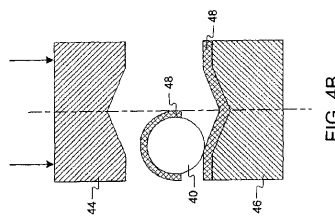


FIG. 4B

【図 4 C】

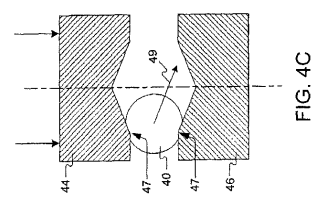


FIG. 4C

【図 4 D】

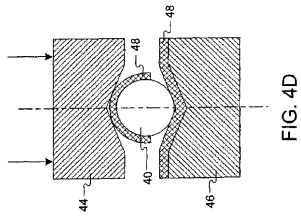


FIG. 4D

【図 4 E】

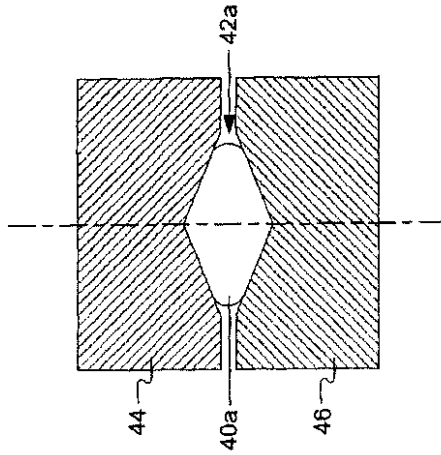


FIG. 4E

【図 4 F】

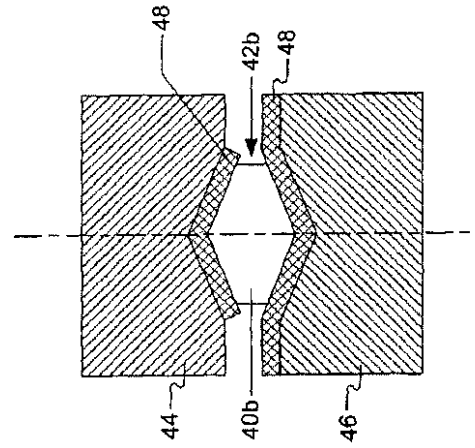


FIG. 4F

【図 5 A】

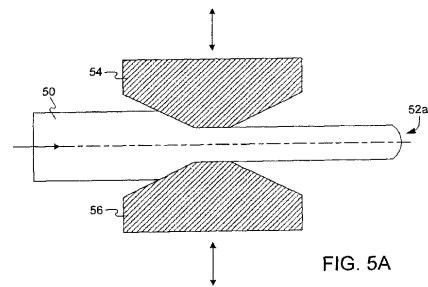


FIG. 5A

【図 5 B】

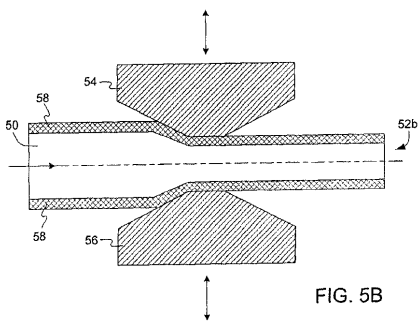


FIG. 5B

【図 6 B】

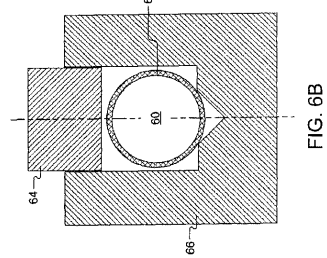


FIG. 6B

【図 6 A】

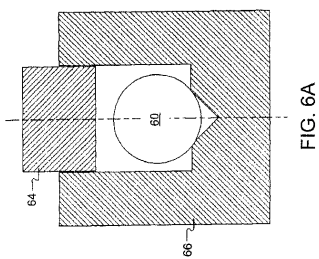


FIG. 6A

【図 6 C】

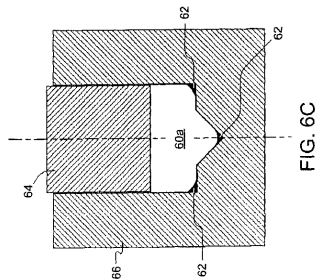
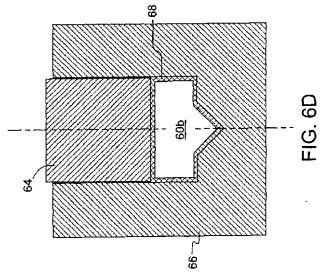


FIG. 6C

【図 6 D】



【図 7 A】

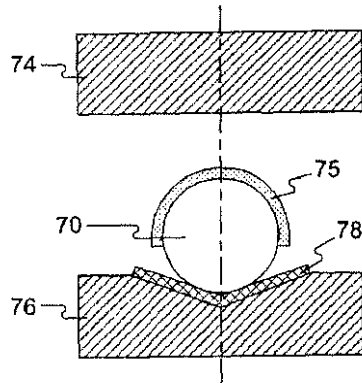


FIG. 7A

【図 7 C】

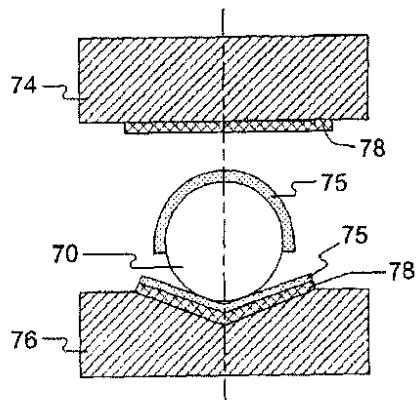


FIG. 7C

【図 7 B】

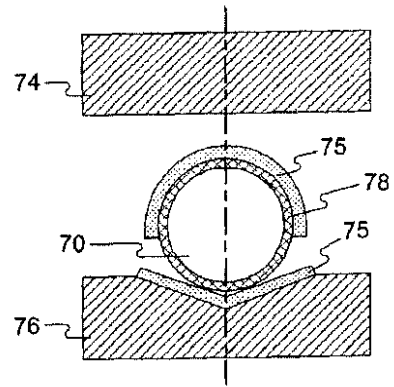


FIG. 7B

【図 7 D】

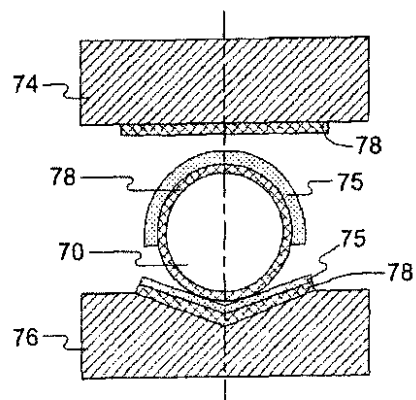


FIG. 7D

【図 8】

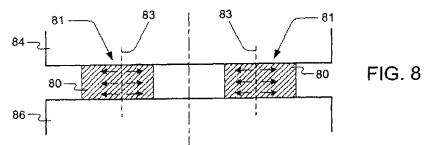
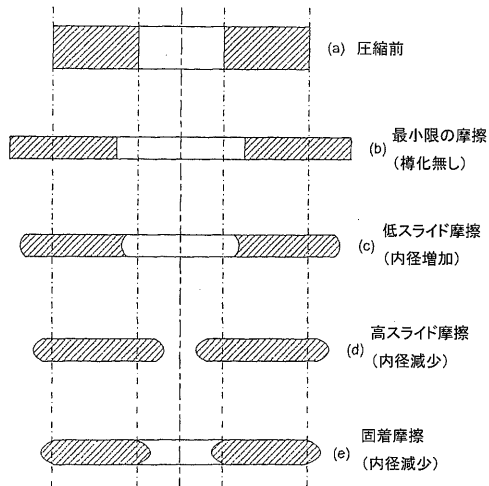
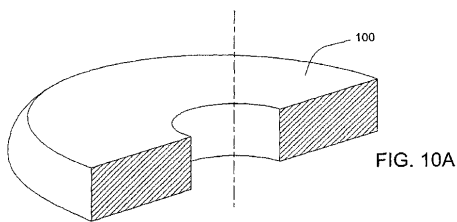


FIG. 8

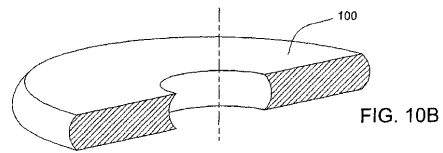
【図 9】



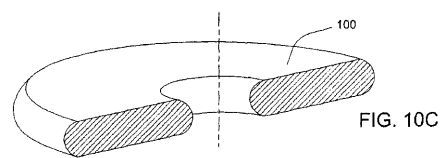
【図 10 A】



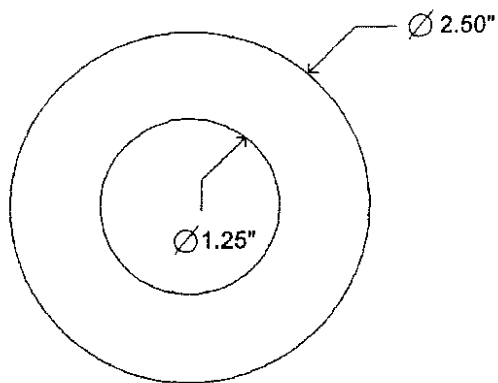
【図 10 B】



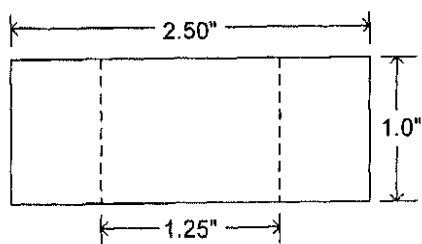
【図 10 C】



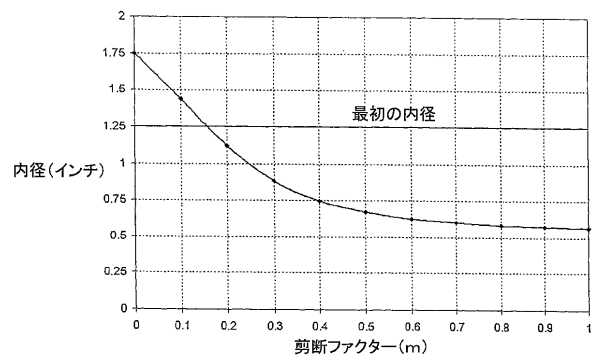
【図 11 A】



【図 11 B】



【図 12】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
**C 1 0 M 103/06 (2006.01)** C 1 0 M 103/02  
 C 1 0 M 103/06 C

(74)代理人 100161595

弁理士 森下 梓

(72)発明者 オッペンハイマー, スコット

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 8 2 7 7, シャーロット, ブーロック・グリーンウェイ・  
 ブールバード 1 2 7 4 0

(72)発明者 フォーブズ・ジョーンズ, ロビン・エム

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 8 2 7 7, シャーロット, ガレイン・コート 1 1 7 0 0

(72)発明者 マンティオーネ, ジョン

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 8 0 7 9, インディアン・トレイル, ルーラル・ファーム  
 ・ロード 1 0 0 3

(72)発明者 ミニサンドラム, ラメッシュ

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 8 2 7 0, シャーロット, エデンデリー・ドライブ 7 0  
 3 5

(72)発明者 トマス, ジャン・フィリップ

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 8 2 7 7, シャーロット, フォックスハイブン・ドライブ  
 1 1 2 2 1

審査官 細川 翔多

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 2 8 8 6 7 4 ( J P , A )  
 特開平 0 4 - 1 1 8 1 3 3 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 3 - 2 6 0 5 3 5 ( J P , A )  
 米国特許第 0 6 3 3 0 8 1 8 ( U S , B 1 )  
 特開平 0 4 - 0 1 3 4 3 4 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 5 - 0 4 0 8 1 0 ( J P , A )  
 特開昭 6 1 - 2 6 9 9 2 9 ( J P , A )  
 英国特許出願公開第 0 0 6 8 4 0 1 3 ( G B , A )  
 特表 2 0 0 3 - 5 3 2 7 9 1 ( J P , A )  
 英国特許出願公開第 0 1 2 0 2 0 8 0 ( G B , A )

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 1 J 3 / 0 0  
 B 2 1 J 5 / 0 0  
 B 2 1 J 1 3 / 0 2  
 C 1 0 M 1 0 3 / 0 0  
 C 1 0 M 1 0 3 / 0 2  
 C 1 0 M 1 0 3 / 0 6