(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2023-67865
(P2023-67865A)
(43)公開日　令和5年5月16日(2023.5.16)

| (51)国際特許分類 | | FI | | | テーマコード（参考） |
|---|---|---|---|---|---|
| *C22C 38/00* | *(2006.01)* | C22C | 38/00 | 302Z | 4K017 |
| *B22F 10/38* | *(2021.01)* | B22F | 10/38 | | 4K018 |
| *B22F 1/00* | *(2022.01)* | B22F | 1/00 | T | |
| *B22F 9/08* | *(2006.01)* | B22F | 9/08 | A | |
| *C22C 38/50* | *(2006.01)* | C22C | 38/50 | | |

審査請求　未請求　請求項の数　20　ＯＬ　外国語出願　（全25頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2022-175399(P2022-175399)
(22)出願日　令和4年11月1日(2022.11.1)
(31)優先権主張番号　63/274,141
(32)優先日　令和3年11月1日(2021.11.1)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(71)出願人　515057827
クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０
(74)代理人　100094569
弁理士　田中 伸一郎
(74)代理人　100103610
弁理士　▲吉▼田 和彦
(74)代理人　100109070
弁理士　須田 洋之
(74)代理人　100119013
弁理士　山崎 一夫
(74)代理人　100123777
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　付加製造用ステンレス鋼粉末

(57)【要約】　（修正有）
【課題】付加製造用ステンレス鋼粉末、付加製造における前記粉末の使用方法を提供する。
【解決手段】例示的合金は、質量%で、１３．２５%～１４．７５%のクロム、４．５%～５．５%のニッケル；０．１１%～０．１７%の炭素、０．０１%～０．３１%のチタン、及び残部質量%の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。例示的方法は、アトマイズ合金粉末を用いて付加製造を実施して、製造物品を生成するステップを含み、アトマイズ合金粉末は、質量%で、１３．２５%～１４．７５%のクロム；４．５%～５．５%のニッケル；０．１１%～０．１７%の炭素；０．０１%～０．３１%のチタン；及び残部質量%の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。
【選択図】なし

【特許請求の範囲】
【請求項１】
合金であって、質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１１％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物
を含む、合金。
【請求項２】
質量で：
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；
０．０４％以下の酸素；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、請求項１に記載の合金。
【請求項３】
質量で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１４％～０．１６％の炭素；
０．１２％～０．１８％のチタン；
０．０１％～０．２１％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；及び
０．４％～０．６％のモリブデン
を含む、請求項２に記載の合金。
【請求項４】
質量で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１１％～０．１５％の炭素；及び
０．０２％～０．１４％のチタン；
を含む、請求項２に記載の合金。
【請求項５】
前記合金は、付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、
２０％未満のδ－フェライト、及び３０％未満のγ－オーステナイトであるミクロ構造と；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；
ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；
ｘ－ｙ試験片について、約１０００ＭＰａの降伏強さと、
を有する、請求項３に記載の合金。
【請求項６】
前記合金は、付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、
１％未満のδ－フェライト、１％未満のγ－オーステナイト、及び約９９％のマルテンサイトであるミクロ構造と；
ｘ－ｙ試験片について、１０％～１４％の伸びと；
ｘ－ｙ試験片について、１１２５ＭＰａ～１１３５ＭＰａの降伏強さと、
を有する、請求項４に記載の合金。

【請求項７】
前記合金は、付加製造工程を施された後、及び／又はエージングの後、$Fe_{2.4}C$粒子を含むミクロ構造を有する、請求項１に記載の合金。
【請求項８】
クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．７～２．９である、請求項１に記載の合金。
【請求項９】
付加製造に使用可能なアトマイズ合金粉末であって、
質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１１％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；
０．０４％以下の酸素；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物
を含む、合金粒子
を含む、アトマイズ合金粉末。
【請求項１０】
前記合金粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１２％～０．１４％の炭素；及び
０．０６％～０．１０％のチタン；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、請求項９に記載のアトマイズ合金粉末。
【請求項１１】
前記合金粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１３％～０．１７％の炭素；
０．１３％～０．１７％のチタン；
０．４％～０．６％のモリブデン；
０．０５％～０．１５％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、請求項９に記載のアトマイズ合金粉末。
【請求項１２】
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、前記アトマイズ合金粉末は、
３０％未満のδ－フェライト及びγ－オーステナイトであるミクロ構造と、ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；
を有する、請求項１１に記載のアトマイズ合金粉末。
【請求項１３】
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、前記アトマイ

ズ合金粉末は、ｘ－ｙ試験片について、約１０００ＭＰａ～約１１４０ＭＰａの降伏強さを有する、請求項９に記載のアトマイズ合金粉末。
【請求項１４】
付加製造におけるアトマイズ合金粉末の使用方法であって、
合金化された粒子を含む前記アトマイズ合金粉末を受け取るステップであって、前記合金化された粒子は、質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１３％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；
０．０１％以下のニオブ；
０．０１％以下のケイ素；
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；及び
０．０４％以下の酸素；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物
を含む、ステップと、
前記アトマイズ合金粉末を用いた付加製造を実施して、製造物品を生成するステップであって、前記付加製造は、アルゴン（Ａｒ）雰囲気下で実施される、ステップと、
製造物品を取り出すステップと、
を含む、方法。
【請求項１５】
前記合金化された粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１４％～０．１６％の炭素；
０．１２％～０．１８％のチタン；
０．０１％～０．２１％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；及び
０．４％～０．６％のモリブデン；
を含む、請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
前記合金化された粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１１％～０．１５％の炭素；及び
０．０２％～０．１４％のチタン；
を含む、請求項１４に記載の方法。
【請求項１７】
前記完成した製造物品は：
３０％未満がδ－フェライト及びγ－オーステナイトであるミクロ構造と；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；
ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；
を有する、請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
ビルドプレートを温度１７５℃～２００℃の温度に予熱するステップを更に含み；
前記完成した製造物品は：
１％未満のδ－フェライト、１％未満のγ－オーステナイト、及び約９９％がマルテンサイトであるミクロ構造と；

ｘ－ｙ試験片について、１０％～１４％の伸びと；
ｘ－ｙ試験片について、１１２５ＭＰａ～１１３５ＭＰａの降伏強さと、
を有する、請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
前記合金化された粒子は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．７～２．９である、請求項１４に記載の方法。
【請求項２０】
前記完成した製造物品は：
１８５～２３５の室温靭性（$K_{IC}$）；及び
０ｍＶ　ＳＣＥ超の孔食電位
を有する、請求項１６に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本出願は、２０２１年１１月１日に出願された米国特許仮出願第６３／２７４，１４１号の優先権を主張するものであり、その内容全体を参照により本明細書に援用する。
政府の権益
本発明は、アメリカ合衆国国防総省（Ｕ．Ｓ．Ｄｅｐａｒｔｍｅｎｔ　ｏｆ　Ｄｅｆｅｎｓｅ）によって与えられた、契約書第Ｎ６８３３５－１８－Ｃ－００２０号に基づき、政府の支援によってなされた。米国政府は本発明において一定の権利を有する。
技術分野
本開示は、ステンレス鋼合金粉末を製造するための材料、方法及び技術に関する。より具体的には、例示的なステンレス鋼合金粉末は、付加製造の実施に好適である。
【背景技術】
【０００２】
付加製造（ＡＭ）は、伝統的な鋳型及び成形ダイの使用ではなく、コンピューター支援設計（ＣＡＤ）情報の制御の下に、交互積層法で部材を製造する方法である。粉末床レーザー融解法（ＬＰＢＦ）としても知られる選択的レーザー溶融法（Ｓｅｌｅｃｔｉｖｅ　Ｌａｓｅｒ　Ｍｅｌｔｉｎｇ）（ＳＬＭ）等の付加製造技術は、近年大幅に成熟してきた。
付加製造は、金型又は機械加工を用いずに非常に複雑な幾何形状のネットシェイプ製作を可能にすることによって、材料使用量、エネルギー消費、部材のコスト、及び製造時間の削減の可能性を与える。付加製造は、迅速な部材の製造、入手困難な部品の一度限りの製造、及び従来手段による製造が困難な部品（機械加工又は鋳造ができない複雑な幾何形状等）の製造を可能にする。結果として、付加製造は、特注部品又は交換部品を入手するエンドユーザーだけでなく、ＯＥＭ業者（相手先ブランド名製造業者）にも、部品製造における融通性をもたらし得る。
【発明の概要】
【０００３】
本明細書で開示及び企図される材料、方法及び技術は、付加製造用途に特に適応された合金鋼に関する。場合によっては、合金鋼は、クロム、ニッケル、炭素、チタン、及び残部の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。場合によっては、合金鋼は、クロム、ニッケル、炭素、チタン、バナジウム、タングステン、モリブデン、及び残部の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。
【０００４】
一態様において、合金が開示される。例示の合金は、質量％で：１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１１％～０．１７％の炭素；０．０１％～０．３１％のチタン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。

別の態様において、付加製造に使用可能なアトマイズ合金粉末が開示される。例示のアトマイズ合金粉末は、質量％で：１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１１％～０．１７％の炭素；０．０１％～０．３１％のチタン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。

別の態様において、付加製造においてアトマイズ合金粉末を使用する方法が開示される。例示の方法は、合金化された粒子を含むアトマイズ合金粉末を受け取るステップと、アトマイズ合金粉末を用いた付加製造を実施して製造物品を生成するステップであって、付加製造はアルゴン（Ａｒ）雰囲気下で実施される、ステップと；製造物品を取り出すステップと、を含んでもよい。例示の合金化された粒子は、質量％で：１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１１％～０．１７％の炭素；０．０１％～０．３１％のチタン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。

一態様において、合金が開示される。例示の合金は、質量％で：１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１１％～０．１５％の炭素；０．０２％～０．１４％のチタン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。

別の態様において、付加製造された物品が開示される。例示の付加製造物品は、合金化された粒子を含むアトマイズ合金粉末を受け取るステップと、アトマイズ合金粉末を用いた付加製造を実施して付加製造物品を生成するステップであって、付加製造は、アルゴン（Ａｒ）雰囲気下で実施される、ステップと；付加製造物品を取り出すステップと、を含む方法を用いて作製されてもよい。例示の合金化された粒子及び／又は付加製造物品は、質量％で：１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１３％～０．１７％の炭素；０．０１％～０．３１％のチタン；０．０１％～０．２１％のバナジウム；０．４％～０．６％のタングステン；０．４％～０．６％のモリブデン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。

【０００５】

本開示によるいくつかの利益を得るために、ステンレス鋼合金粉末に関する材料、技術又は方法が、本明細書で特徴付けられる詳細の全てを含むことは特に要求されない。従って、本明細書で特徴付けられる特定の実施例は、記載された技術の例示的応用であることが意図され、別の方法が可能である。

【０００６】

本特許又は出願のファイルは、色付きで製作された少なくとも一つの図面を含む。色付き図面（１又は複数）を含む本件特許又は特許出願公開の複写は、請求及び必要な手数料の支払いに応じて、当局より提供される。

【図面の簡単な説明】

【０００７】

【図１Ａ】ビルドプレートに平行に撮影した（ｘ－ｙ試験片）、ａｓ－ｂｕｉｌｔ（造形まま）状態の実験合金例１の光学顕微鏡写真である。

【図１Ｂ】ビルドプレートに垂直に撮影した（ｚ試験片）、図１Ａに示す実験合金例１の光学顕微鏡写真である。

【図２】図１Ａ及び図１Ｂに示す実験合金例１の電子線後方散乱回折法（ＥＢＳＤ）画像である。

【図３】実験合金例２の電子線後方散乱回折法（ＥＢＳＤ）画像である。

【図４】市販の合金と、図１Ａ、図１Ｂ、及び図２に示す実験合金例１との疲労性能を比較したグラフである。

【図５】市販の合金と、図１Ａ、図１Ｂ、及び図２に示す実験合金例１との腐食性能を比

較したグラフである。
【図６】市販の合金と、図１Ａ、図１Ｂ、及び図２に示す実験合金例１との室温靭性（ａｍｂｉｅｎｔ　ｔｏｕｇｈｎｅｓｓ）及び応力腐食割れ（ＳＣＣ）抵抗性を比較したグラフである。
【図７】図６に示す実験合金例１の光学顕微鏡写真である。
【図８】図６に示す実験供給業者Ｃ（Ａｒ）の光学顕微鏡写真である。
【図９】図６に示す実験鍛錬用１７－４（Ｈ１０２６）の光学顕微鏡写真である。
【発明を実施するための形態】
【０００８】
本明細書で開示及び企図される材料、方法及び技術は、ステンレス鋼合金に関する。本明細書で開示及び企図される合金は、付加製造用途に良く適している。例えば、付加製造に使用可能なアトマイズ合金粉末は、本明細書で開示及び企図される種々の合金を含む合金粒子を含み得る。
一般に例示的合金粉末は、ａｓ－ｂｕｉｌｔ状態において好適な特性及び特徴を提供するように設計されてもよい。例示的合金は、典型的には銅を含まない組成を有する。例示的合金は、ａｓ－ｂｕｉｌｔ状態で、並びに／又は応力緩和及び／若しくはＳｔａｇｅＩ焼戻しの後に、主にマルテンサイトであるミクロ構造を有し得る。場合によっては、例示的合金は、１７－４合金組成物よりも大量のニッケルを含み得る。特定の理論に束縛されるものではないが、ニッケル含量を増やすことで、得られる製造物品の靭性を改良でき、且つ／又はポアなどの欠陥に対応できると理論付けされる。場合によっては、例示的合金は、「自己焼戻し」を介して強度を付与できるε－カーバイドを利用する。場合によっては、例示的合金は、モリブデン及びタングステンも含んでもよく、これは固溶液強化及び／又は粒間応力腐食割れへの耐性を付与できる。
Ｉ．例示の合金鋼
例示の合金鋼を、成分及び量の例、相及びミクロ構造の特徴、並びに物理的特性に関して、以下に記載する。他の箇所で論じるように、例示的合金鋼は、粉末ベースの付加製造の実施に特に好適である。種々の実施において、例示的合金は、重大な熱処理なしで、印刷及びその後の操作に耐えるのに十分な靭性を有することができる。種々の実施において、例示的合金は、マトリックスの強靭化により、ポア及び表面むらに対する耐性を有することができる。種々の実施において、例示的合金は、高クロム含量で十分な耐孔食性を有し得る。
【０００９】
Ａ．例示の成分及び量
本明細書で開示及び企図される例示的合金鋼は、様々な成分を様々な量で含む。例えば、例示の合金鋼は、鉄と、クロム（Ｃｒ）、ニッケル（Ｎｉ）、炭素（Ｃ）、及びチタン（Ｔｉ）のうちの１つ以上と、を含み得る。場合によっては、例示の合金鋼は、バナジウム（Ｖ）、タングステン（Ｗ）、及びモリブデン（Ｍｏ）を追加的に含み得る。場合によっては、例示の合金鋼は、ケイ素（Ｓｉ）、タンタル（Ｔａ）、銅（Ｃｕ）、マンガン（Ｍｎ）、ニオブ（Ｎｂ）、窒素（Ｎ）、酸素（Ｏ）、リン（Ｐ）、及び硫黄（Ｓ）などの１つ以上の偶発元素及び不純物を追加的に含むことができる。
【００１０】
例示的合金鋼は、銅を含まないか、又は０．０１質量％未満の銅を含む。銅は、典型的には、純銅沈殿物のナノ分散体を形成することから、１７－４ＰＨ合金において強化剤である。しかし、これらの沈殿物は、十分な焼戻しを用いた場合のみ核形成できる。本例示的合金は、マルテンサイトの応力緩和及び焼戻しのための基本的熱処理のみが施されるように設計されていることから、銅は、強度に対する大きな因子ではなく、従って、微量で使用されるか、又は全く使用されない。
例示的合金鋼は、１７－４ＰＨ合金と比較して、高い炭素含有量を有してもよい。高い炭素含量は、ε－カーバイド（$Fe_{2.4}C$）粒子の硬化を促進し、ＳｔａｇｅＩ焼戻し（例えば、２００℃で最大１時間）において材料を強靭化することができ、これは「自己焼

戻し」工程を介して達成されてもよく、当該工程はビルド中の残留加熱であってもよい。
場合によっては、例示的合金鋼は、少量のモリブデン及び／又はタングステンを含んでもよく、これは、耐腐食性及び粒界破壊に抵抗するための粒界結合力を改良し得る。場合によっては、例示的合金鋼は、０．０１質量％未満のモリブデン及び／又は０．０１質量％未満のタングステン及び／又は０．０１質量％未満のバナジウムを含む。

【００１１】

例示の合金鋼は、クロムを含み得る。例えば、例示の合金鋼は、質量で、１３．２５％～１４．７５％のクロム（Ｃｒ）を含み得る。種々の実施において、例示の合金鋼は、質量で、１３．２５％～１５％のＣｒ；１３．２５％～１４．７５％のＣｒ；１３．５％～１４．５％のＣｒ；１３．２５％～１３．７５％のＣｒ；１３．７５％～１４．２５％のＣｒ；１４．２５％～１４．７５％のＣｒ；１３．３％～１３．５％のＣｒ；１３．５％～１３．７％のＣｒ；１３．７％～１３．９％のＣｒ；１３．９％～１４．１％のＣｒ；１４．１％～１４．３％のＣｒ；１４．３％～１４．５％のＣｒ；又は１４．５％～１４．７％のＣｒを含み得る。種々の実施において、例示の合金鋼は、質量で、少なくとも１３．２５％のＣｒ；少なくとも１３．５％のＣｒ；少なくとも１３．７５％のＣｒ；少なくとも１４．０％のＣｒ；少なくとも１４．２５％のＣｒ；又は少なくとも１４．５％のＣｒを含み得る。種々の実施において、例示の合金鋼は、質量で、１４．７５％以下のＣｒ；１４．５％以下のＣｒ；１４．２５％以下のＣｒ；１４．０％以下のＣｒ；１３．７５％以下のＣｒ；又は１３．５％以下のＣｒを含み得る。

【００１２】

例示の合金鋼は、ニッケルを含み得る。例えば、例示的合金鋼は、質量で、４．５％～５．５％のニッケル（Ｎｉ）も含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、４．５％～５．３％のＮｉ；４．７％～５．５％のＮｉ；４．５％～５．１％のＮｉ；４．７％～５．３％のＮｉ；４．９％～５．５％のＮｉ；４．７％～５．１％のＮｉ；４．９％～５．３％のＮｉ；５．１％～５．５％のＮｉ；４．５％～４．７％のＮｉ；４．７％～４．９％のＮｉ；４．９％～５．１％のＮｉ；５．１％～５．３％のＮｉ；又は５．３％～５．５％のＮｉを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、少なくとも４．５％のＮｉ；少なくとも４．７５％のＮｉ；少なくとも５．０％のＮｉ；又は少なくとも５．２５％のＮｉを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、５．５％以下のＮｉ；５．２５％以下のＮｉ；５．０％以下のＮｉ；又は４．７５％以下のＮｉを含み得る。

【００１３】

例示の合金鋼は、炭素を含み得る。例えば、例示的合金鋼は、質量で、０．１１％～０．１７％の炭素（Ｃ）を含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．１３％～０．１７％のＣ；０．１３％～０．１６％のＣ；０．１４％～０．１７％のＣ；０．１３％～０．１５％のＣ；０．１５％～０．１７％のＣ；０．１１％～０．１５％のＣ；又は０．１４％～０．１６％のＣを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、少なくとも０．１１％のＣ；少なくとも０．１３％のＣ；又は少なくとも０．１５％のＣを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．１７％以下のＣ；０．１５％以下のＣ；又は０．１３％以下のＣを含み得る。

【００１４】

例示の合金鋼は、チタンを含み得る。例えば、例示的合金鋼は、質量で、０．０１％～０．３１％のチタン（Ｔｉ）を含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．０１％～０．２８％のＴｉ；０．０４％～０．３１％のＴｉ；０．０１％～０．１５％のＴｉ；０．０２％～０．１４％のＴｉ；０．１５％～０．３１％のＴｉ；０．０１％～０．１％のＴｉ；０．１％～０．２％のＴｉ；０．２％～０．３１％のＴｉ；０．０７％～０．１８％のＴｉ；０．１３％～０．２２％のＴｉ；０．１８％～０．２６％のＴｉ；０．０１％～０．０６％のＴｉ；０．０６％～０．１１％のＴｉ；０．１１％～０．１６％のＴｉ；０．１６％～０．２１％のＴｉ；０．２１％～０．２６％のＴｉ；又は０．２６％～０．３１％のＴｉを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で

、少なくとも０．０１％のＴｉ；少なくとも０．０２％のＴｉ；少なくとも０．１０％のＴｉ；少なくとも０．１５％のＴｉ；少なくとも０．２０％のＴｉ；又は少なくとも０．２５％のＴｉを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．３１％以下のＴｉ；０．２５％以下のＴｉ；０．２０％以下のＴｉ；０．１５％以下のＴｉ；０．１０％以下のＴｉ；又は０．０５％以下のＴｉを含み得る。

【００１５】

場合によっては、例示の合金鋼は、バナジウムを含み得る。例えば、例示的合金鋼は、存在する場合、質量で、０．０１％～０．２１％のバナジウム（Ｖ）を含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．０１％～０．１８％のＶ；０．０４％～０．２１％のＶ；０．０１％～０．１１％のＶ；０．１１％～０．２１％のＶ；０．０１％～０．０７％のＶ；０．０７％～０．１４％のＶ；０．１４％～０．２１％のＶ；０．０６％～０．１０％のＶ；０．１０％～０．１４％のＶ；０．１４％～０．１８％のＶ；０．０１％～０．０４％のＶ；０．０４％～０．０７％のＶ；０．０７％～０．１０％のＶ；０．１０％～０．１３％のＶ；０．１３％～０．１６％のＶ；又は０．１６％～０．１９％のＶを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、少なくとも０．０１％のＶ；少なくとも０．０５％のＶ；少なくとも０．１０％のＶ；又は少なくとも０．１５％のＶを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、０．２１％以下のＶ；０．１５％以下のＶ；０．１０％以下のＶ；又は０．０５％以下のＶを含み得る。

【００１６】

場合によっては、例示の合金鋼は、タングステンを含み得る。例えば、例示的合金鋼は、存在する場合、質量で、０．４％～０．６％のタングステン（Ｗ）を含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．４％～０．５％のＷ；０．５％～０．６％のＷ；０．４％～０．４５％のＷ；０．４５％～０．５％のＷ；０．５％～０．５５％のＷ；０．５５％～０．６％のＷ；０．４２％～０．４６％のＷ；０．４８％～０．５２％のＷ；０．５２％～０．５６％のＷ；０．４０％～０．４３％のＷ；０．４３％～０．４６％のＷ；０．４６％～０．４９％のＷ；０．４９％～０．５２％のＷ；０．５２％～０．５５％のＷ；０．５５％～０．５８％のＷ；又は０．５８％～０．６％のＷを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、少なくとも０．４％のＷ；少なくとも０．４５％のＷ；少なくとも０．５％のＷ；又は少なくとも０．５５％のＷを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、０．６％以下のＷ；０．５５％以下のＷ；０．５％以下のＷ；又は０．４５％以下のＷを含み得る。

【００１７】

場合によっては、例示の合金鋼は、モリブデンを含み得る。例えば、例示的合金鋼は、存在する場合、質量で、０．４％～０．６％のモリブデン（Ｍｏ）を含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、質量で、０．４％～０．５％のＭｏ；０．５％～０．６％のＭｏ；０．４％～０．４５％のＭｏ；０．４５％～０．５％のＭｏ；０．５％～０．５５％のＭｏ；０．５５％～０．６％のＭｏ；０．４２％～０．４６％のＭｏ；０．４８％～０．５２％のＭｏ；０．５２％～０．５６％のＭｏ；０．４０％～０．４３％のＭｏ；０．４３％～０．４６％のＭｏ；０．４６％～０．４９％のＭｏ；０．４９％～０．５２％のＭｏ；０．５２％～０．５５％のＭｏ；０．５５％～０．５８％のＭｏ；又は０．５８％～０．６％のＭｏを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、少なくとも０．４％のＭｏ；少なくとも０．４５％のＭｏ；少なくとも０．５％のＭｏ；又は少なくとも０．５５％のＭｏを含み得る。種々の実施において、例示的合金鋼は、０．６％以下のＭｏ；０．５５％以下のＭｏ；０．５％以下のＭｏ；又は０．４５％以下のＭｏを含み得る。

【００１８】

場合によっては、例示の合金鋼は、１つ以上の偶発元素及び／又は不純物を含み得る。開示される合金鋼中の偶発元素及び不純物としては、原材料に付着しているケイ素、タンタル、銅、マンガン、ニオブ、窒素、酸素、リン、及び硫黄元素、又はこれらの混合物が挙げられるがこれらに限定されない。偶発元素及び不純物は、本明細書に開示される合金

中に、合計で０．１質量％以下、０．０５質量％以下、０．０１質量％以下、又は０．００１質量％以下で存在し得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下のケイ素；０．００１％以下のケイ素；又は０．０００１％以下のケイ素を含んでもよい。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下のタンタル；０．００１％以下のタンタル；又は０．０００１％以下のタンタルを含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下の銅；０．００１％以下の銅；又は０．０００１％以下の銅を含み得る。
場合によっては、例示の合金は、質量で、０．１％以下のマンガン；０．０１％以下のマンガン；又は０．００１％以下のマンガンを含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下のニオブ；０．００５％以下のニオブ；又は０．００１％以下のニオブを含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０２％以下の窒素、０．０１％以下の窒素、０．００５％以下の窒素；又は０．００１％以下の窒素を含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０４％以下の酸素、０．０２％以下の酸素；０．０１％以下の酸素；０．００５％以下の酸素；又は０．００１％以下の酸素を含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下のリン；０．００５％以下のリン、又は０．００１％以下のリンを含み得る。
場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、０．０１％以下の硫黄；０．００５％以下の硫黄、又は０．００１％以下の硫黄を含み得る。
本明細書に記載される合金は、上記の構成成分のみからなってもよく、本質的にこのような構成成分からなってもよく、又は他の実施形態においては、追加の構成成分を含んでもよいことは理解される。

【００１９】

例示の合金鋼は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．４～３．３であってもよい。種々の例において、例示の合金鋼は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．４～２．９；２．６～３．３；２．７～２．９；２．７５～２．８５；又は２．８～２．９であってもよい。種々の例において、例示の合金鋼は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．４以上；２．６以上；２．８以上；３．０以上又は３．２以上であってもよい。種々の例において、例示の合金鋼は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、３．３以下；３．１以下；２．９以下；２．７以下；又は２．５以下であってもよい。

【００２０】

例示の合金鋼は、上記の成分を様々な量の組合せで含み得る。例えば、例示の合金鋼は、質量で、１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１３％～０．１７％の炭素；０．０１％～０．３１％のチタン；０．０１％～０．２１％のバナジウム；０．４％～０．６％のタングステン；０．４％～０．６％のモリブデン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０１％以下のニオブ；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素、及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、１３．７５％～１４．２５％のクロム；４．７５％～５．２５％のニッケル；０．１４～０．１６％の炭素；０．１０％～０．２０％のチタン；０．０７％～０．１４％のバナジウム；０．４５％～０．５５％のタングステン；及び０．４５％～０．５５％のモリブデン；０．０１％以下のマンガン；０．０１％以下のニオブ；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素、及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。場合によっては、例示の合金鋼は、質量で、１３．２５％～１４．７５％のクロム；４．５％～５．５％のニッケル；０．１１％～０．１５％の炭素；０．０２％～０．１４％のチタン；０．０１％以下の銅；０．０１％以下のマンガン；０．０２％以下の窒素；０．０４％以下の酸素；及び残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含み得る。その他の量が企図される。

【００２１】

Ｂ．例示の相及びナノ構造特性
例示的合金は、付加製造工程を施された後（「ａｓ－ｂｕｉｌｔ」とも呼ばれる）、及びＳｔａｇｅＩ焼戻しの後、粉末形態で様々な相及びミクロ構造特性を有することができる。
ＳｔａｇｅＩ焼戻しは、印刷された物品を、加熱環境に所与の時間にわたって置くことを含み得る。例えば、ＳｔａｇｅＩ焼戻しは、１００℃～２５０℃で３０分～４時間実施されてもよい。例として、ＳｔａｇｅＩ焼戻しは、２００℃で１時間実施されてもよい。
場合によっては、付加製造工程を施された後、例示的合金は、主にマルテンサイト系の構造を有し得る。例示的合金は、微量のδ－フェライト及びγ－オーステナイトも含むことができる。
例示的合金は、付加製造工程を施された後、６０％超（相分率）がマルテンサイト；６５％超がマルテンサイト；７０％超がマルテンサイト；９５％超がマルテンサイト；９８％超がマルテンサイト；又は約９９％超がマルテンサイトであるミクロ構造を有し得る。種々の例において、例示的合金は、付加製造工程を施された後、６０％～７２％がマルテンサイト；６０％～６６％がマルテンサイト；又は６６％～７２％がマルテンサイトであるミクロ構造を有し得る。
例示的合金は、付加製造工程を施された後、２０％未満（相分率）がδ－フェライト；１８％未満がδ－フェライト；１６％未満がδ－フェライト；１４％未満がδ－フェライト；１２％未満がδ－フェライト；又は１％未満がδ－フェライトであるミクロ構造を有し得る。
例示的合金は、付加製造工程を施された後、３０％未満（相分率）がγ－オーステナイト；２５％未満がγ－オーステナイト；２０％未満がγ－オーステナイト；１８％未満がγ－オーステナイト；又は１％未満がγ－オーステナイトであるミクロ構造を有し得る。
例示の合金は、付加製造工程を施された後、４０％未満（相分率）がδ－フェライト及びγ－オーステナイト；３０％未満がδ－フェライト及びγ－オーステナイト；２０％未満がδ－フェライト及びγ－オーステナイト；５％未満がδ－フェライト及びγ－オーステナイト；又は２％未満がδ－フェライト及びγ－オーステナイトであるミクロ構造を有し得る。
例示的合金は、付加製造工程を施された後、及び／又はＳｔａｇｅＩ焼戻し（２００℃で１時間実施されてもよい）の後、$Fe_{2.4}C$粒子（ε－カーバイドとも呼ばれる）を含むミクロ構造を有し得る。
【００２２】
Ｃ．例示の機械的特性
例示的合金は、付加製造工程を施された後（「ａｓ－ｂｕｉｌｔ」とも呼ばれる）、及びＳｔａｇｅＩ焼戻しの後、粉末形態で様々な機械的特性を有することができる。以下の種々の機械的特性は、ｘ－ｙ試験片（引張試験片の長軸がビルドプレートに平行であった）、及びｚ試験片（引張試験片の長軸がビルドプレートに垂直であった）に関して記載されており、張力をかけて試験した。
例示の合金は、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態で様々な降伏強さ特性を有することができ、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態とは、付加製造工程を施された後、いかなるエージング又は溶体化熱処理も実施していないことを意味する。
【００２３】
例えば、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｚ試験片について、１０３０ＭＰａ～１４７０ＭＰａの０．２％弾性オフセット降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示の合金は、ｚ試験片について、１０３０ＭＰａ～１０４５ＭＰａ；１０３３ＭＰａ～１０４１ＭＰａ；１４００ＭＰａ～１４７０ＭＰａ；１４００ＭＰａ～１４３５ＭＰａ；１４３５ＭＰａ～１４７０ＭＰａ；１４４０ＭＰａ～１４６０ＭＰａ；又は１４４５ＭＰａ～１４６５ＭＰａの降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｚ試験片について、少なくとも１０３０ＭＰａ；少なくとも１０３７ＭＰａ；少なくとも１４００ＭＰａ；少なくとも１４３０ＭＰａ；少

なくとも１４４５ＭＰａ；少なくとも１４５５ＭＰａ；又は少なくとも１４６０ＭＰａの降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｚ試験片について、１４６０ＭＰａ以下；１４５５ＭＰａ以下；１４４５ＭＰａ以下；１４３５ＭＰａ以下；１４２０Ｍｐａ以下；又は１４００ＭＰａ以下の降伏強さを有し得る。

ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、約９５０ＭＰａ～約１１４０ＭＰａの０．２％弾性オフセット降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示の合金は、ｘ－ｙ試験片について、９５０ＭＰａ～１０００ＭＰａ；１０００ＭＰａ～１０５０ＭＰａ；９６０ＭＰａ～１０４０ＭＰａ；１１２０ＭＰａ～１１４０ＭＰａ；１１２５ＭＰａ～１１３５ＭＰａ；又は１１３０ＭＰａ～１１３４ＭＰａの降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、少なくとも９５０ＭＰａ；少なくとも９７０ＭＰａ；少なくとも９９０ＭＰａ；少なくとも１０１０ＭＰａ；少なくとも１０３０ＭＰａ；少なくとも１０４５ＭＰａ；少なくとも１１２５Ｍｐａ；又は少なくとも１１３０ＭＰａ降伏強さを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示の合金は、ｘ－ｙ試験片について、１１３５ＭＰａ以下；１１３３ＭＰａ以下；１０４０ＭＰａ以下；１０２０ＭＰａ以下；１０００ＭＰａ以下；９８０ＭＰａ以下；又は９６０ＭＰａ以下の降伏強さを有し得る。

ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、１１％～２１％の伸びを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、１１％～２１％；１１％～１５％；１５％～１８％；１８％～２１％；１５％～１７％；１７％～１９％；又は１９％～２１％の伸びを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、少なくとも１１％；少なくとも１５％；少なくとも１７％；少なくとも１９％；又は少なくとも２０％の伸びを有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、ｘ－ｙ試験片について、２０％以下；１８％以下；１６％以下；又は１２％以下の伸びを有し得る。

ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、４４ＨＲＣ～５０ＨＲＣの硬度値を有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、４４ＨＲＣ～４７ＨＲＣ；４７ＨＲＣ～５０ＨＲＣ；４４ＨＲＣ～４６ＨＲＣ；４６ＨＲＣ～４８ＨＲＣ；又は４８ＨＲＣ～５０ＨＲＣの硬度を有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、少なくとも４４ＨＲＣ；少なくとも４６ＨＲＣ；又は少なくとも４８ＨＲＣの硬度を有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、４９ＨＲＣ以下；４７ＨＲＣ以下；又は４５ＨＲＣ以下の硬度を有し得る。

ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、１８５～２３５の室温靭性（$K_{IC}$）を有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、１８５～２３５；１８５～１９５；２２５～２３５；１９０～２３０；１９０～２１０；又は２１０～２３０の室温靭性（$K_{IC}$）を有し得る。種々の実施において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、少なくとも１８５；少なくとも１９０；少なくとも１９５；少なくとも２００；少なくとも２０５；少なくとも２１０；少なくとも２１５；少なくとも２２０；少なくとも２２５；又は少なくとも２３０の室温靭性（$K_{IC}$）を有し得る。種々の例において、例示的合金鋼は、２３５以下；２３０以下；２２５以下；２２０以下；２１５以下；２１０以下；２０５以下；２００以下；１９５以下；又は１９０以下の室温靭性（$K_{IC}$）を有し得る。

ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は０ｍＶ　ＳＣＥを超える孔食電位を有し得る。種々の例において、ａｓ－ｂｕｉｌｔ形態の例示的合金は、０ｍＶ　ＳＣＥ以上；５ｍ　ＶＳＣＥ以上；１０ｍＶ　ＳＣＥ以上；１５ｍＶ　ＳＣＥ以上；２０ｍＶ　ＳＣＥ以上；２５ｍＶ　ＳＣＥ以上；又は３０ｍＶ　ＳＣＥ以上の孔食電位を有し得る。

【００２４】

ＩＩ．合金粉末の例示の調製方法

本明細書で開示及び企図される例示の合金鋼は、対象とする付加製造システムに適した様々な供給原料形態に二次加工されてもよい。例えば、本明細書で開示及び企図される例

示の合金鋼を、不活性ガス噴霧等の利用可能なアトマイズ技術を使用して、アトマイズ合金粉末に二次加工してもよい。得られるアトマイズ合金粉末は、粉末床融解又は指向性エネルギー堆積システムに使用できる。

アトマイズ合金粉末の例示の製造方法は、元素金属供給原料又は所望の化学品が製造されるように予め合金化した供給原料を溶融するステップを含む。上に開示した元素のいくつかの組合せでは、所望の化学品の温度が溶融物中に固体材料部分がない温度以上に達すると、アトマイズ工程が起こるはずである。

例示のアトマイズ合金粉末は、特定の用途及び／又は製造システムに合わせたサイズの粒子を有し得る。いくつかの実施では、例示のアトマイズ合金粉末は、１５μｍ～４５μｍの直径を有する粒子を含む。

【００２５】

ＩＩＩ．例示の製造方法

本明細書で開示及び企図される例示の合金鋼は、付加製造システムにおいて使用できる。付加製造法は、コンピュータ制御されたエネルギー源（例えば、レーザー、電子ビーム、溶接トーチ等）を用いて金属を選択的に融解することにより、部品を層状に造形する方法である。付加製造は、ＡＳＴＭ Ｆ２７９２－１２ａ「Ｓｔａｎｄａｒｄ Ｔｅｒｍｉｎｏｌｏｇｙ ｆｏｒ Ａｄｄｉｔｉｖｅｌｙ Ｍａｎｕｆａｃｔｕｒｉｎｇ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ」にも定義されている。

例示の付加層製造方法には、以下の方法が含まれる：レーザーを使用して、正確に制御された位置において粉末媒体を焼結する、直接金属レーザー焼結法（ＤＭＬＳ）；ワイヤー状供給原料をレーザーによって溶融した後、正確な位置に堆積し、固化させて製品を造形する、レーザーワイヤー堆積法；電子ビーム溶解法；レーザー加工ネットシェイピング；及び直接金属堆積法。一般的に、付加製造技術は、幾何学的制約のない自由形状造形における融通性、迅速な材料加工時間、及び革新的な接合技術を与える。好適な付加製造システムとしては、ＥＯＳ ＧｍｂＨ（Ｒｏｂｅｒｔ－Ｓｔｉｒｌｉｎｇ－Ｒｉｎｇ １，８２１５２ Ｋｒａｉｌｌｉｎｇ／Ｍｕｎｉｃｈ（ドイツ））から入手可能な、ＥＯＳＩＮＴ Ｍ２８０直接金属レーザー焼結（ＤＭＬＳ）付加製造システムが挙げられる。

いくつかの実施では、直接金属レーザー焼結法（ＤＭＬＳ）を使用して、開示及び企図された例示の合金鋼を含む物品が製造される。例示の工程の間に、アトマイズ合金粉末を床状に拡げてもよく、レーザーを使用して該床の領域を選択的に溶融及び融解する。製造物品は、複数の粉末層を連続的に展開及び融解することにより、交互積層様式で造形できる。

一部の実施では、例示的方法は、付加製造システムのビルドプレートを予熱するステップを含んでもよい。場合によっては、ビルドプレートを、約４０℃に予熱してもよい。場合によっては、ビルドプレートを、約１７５℃～約２００℃；１８０℃～１９０℃；１９０℃～２００℃；１８０℃～１８５℃；１８５℃～１９０℃；１９０℃～１９５℃；１９５℃～２００℃；１７８℃～１８２℃；１７９℃～１８１℃；１８０℃～１８２℃；又は約１８０℃に予熱してもよい。種々の例において、ビルドプレートを、１７５℃以上；１８０℃以上；１８５℃以上；１９０℃以上；又は１９５℃以上に予熱してもよい。種々の例において、ビルドプレートを、２００℃以下；１９５℃以下；１９０℃以下；１８５℃以下；又は１８０℃以下に予熱してもよい。

場合によっては、物品は、付加製造後に使用できる状態となり得る。場合によっては、ビルド工程の後で、様々な後処理操作を実施してもよい。例えば、ａｓ－ｂｕｉｌｔ製造物品に、応力緩和のための基本的熱処理を施してもよい。例として、ａｓ－ｂｕｉｌｔ製造物品に、ＳｔａｇｅＩ焼戻しを施してもよく、これは、物品を２００℃の環境に最大１時間置くことを含む。例として、ａｓ－ｂｕｉｌｔ製造物品を、３００℃～７００℃の環境中に１時間～４時間置いてもよい。

典型的には、溶体化熱処理及びエージングは、析出硬化型マルテンサイト系ステンレス鋼グレード（「ＰＨ鋼グレード」）に一般的に使用され、上記グレードの例として１７－４ＰＨ及び１５－５ＰＨが挙げられる。種々の本開示例の合金は、典型的には、溶体化熱

処理及びエージングを受けず、これは時間及びコストの節約をもたらし得る。

付加製造におけるアトマイズ合金粉末の使用方法の例は、種々の操作を含み得る。例えば、例示の方法は、合金化された粒子を含むアトマイズ合金粉末を受け取るステップを含み得る。合金化された粒子は、上に詳述した量の成分を含み得る。該方法は、アトマイズ合金粉末を用いて付加製造を実施して、製造物品を作製するステップも含むことができる。場合によっては、付加製造は、アルゴン（Ａｒ）雰囲気下で実施されてもよい。その後、製造物品を付加製造システムから取り出してもよい。場合によっては、上記のように、製造物品に、熱処理及び焼戻しなどの１つ以上の後処理操作を施してもよい。

【００２６】

ＩＶ．実験例

種々の実験合金例を作製した。結果を以下に論じる。場合によっては、実験合金例を、市販の合金と比較して評価した。

【００２７】

実験例として、Ａｒアトマイズ粉末ヒート（ｐｏｗｄｅｒ　ｈｅａｔ）１００ｋｇを得た（合金例１）。規定の目標組成の範囲及び粉末の化学的性質の測定結果を、合金例１及び合金例２について下の表１に示す。

【表１】

表１．製造した粉末例の合金例１及び合金例２の目標組成、規定製造範囲、及び粉末の化学的性質の測定結果

| | 合金例１ | | 合金例２ | |
|---|---|---|---|---|
| 組成 | 目標（製造範囲）（質量%） | 測定値（質量%） | 目標（製造範囲）（質量%） | 測定値（質量%） |
| Ｃｒ | 14 (13.25–14.75) | 14 | 14 (13.25–14.75) | 13.77 |
| Ｎｉ | 5.0 (4.5–5.5) | 4.9 | 5.0 (4.5–5.5) | 5.1 |
| Ｃ | 0.15 (0.13–0.17) | 0.13 | 0.13 (0.11–0.15) | 0.13 |
| Ｔｉ | 0.15 (0.01–0.31) | 0.13 | 0.08 (0.02–0.14) | 0.03 |
| Ｍｏ | 0.5 (0.4–0.6) | 0.4 | | |
| Ｖ | 0.10 (0.01–0.21) | 0.09 | | |
| Ｗ | 0.5 (0.4–0.6) | 0.4 | | |
| Ｎｂ | <0.1 | 0.0 | <0.1 | 0.0 |
| Ｎ | <0.02 | 0.01 | <0.02 | 0.01 |
| Ｏ | <0.04 | 0.03 | <0.04 | 0.04 |
| Ｃｒ／Ｎｉ | 2.8 | 2.86 | 2.8 | 2.85 |

【００２８】

次の様々な市販の合金を試験した：アルゴン雰囲気下でアトマイズされた供給業者Ａ（供給業者Ａ（Ａｒ））、アルゴン雰囲気下でアトマイズされた供給業者Ｂ（供給業者Ｂ（Ａｒ））、アルゴン雰囲気下でアトマイズされた供給業者Ｃ合金５０％と、窒素雰囲気下でアトマイズされた供給業者Ｃ合金５０％とのブレンドである供給業者Ｃ（供給業者Ｃ（Ａｒ／$Ｎ_2$））、及び窒素雰囲気下でアトマイズされた供給業者Ｃ（供給業者Ｃ　$Ｎ_2$）。各々の元素組成を以下の表２に示す。

【表２】

表２．市販合金の質量百分率（質量%）による元素組成

| | Fe | Cr | Ni | Mo | Nb+Ta | C | N | Cu | Mn | Si |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 供給業者Ａ（Ar） | 残部 | 15.6 | 4.7 | – | 0.22 | 0.01 | 0.036 | 3.61 | 0.5 | 0.38 |
| 供給業者Ｂ（Ar） | 残部 | 16.12 | 4.15 | – | 0.2 | 0.02 | 0.007 | 3.21 | 0.03 | 0.79 |
| 供給業者Ｃ（Ar） | 残部 | 16.7 | 4.29 | 0.05 | 0.27 | 0.01 | 0.031 | 4.49 | 0.20 | 0.36 |
| | | | | | | | | | | |
| 供給業者Ｃ（N2） | 残部 | 15.5 | 4.55 | 0.26 | 0.24 | 0.05 | 0.099 | 4.5 | 0.7 | 0.76 |
| 供給業者Ｃ（Ar）（2） | 残部 | 15.6 | 4.03 | <0.01 | 0.33 | 0.01 | 0.01 | 3.89 | 0.24 | 0.29 |

【００２９】

合金例１の粉末を、種々の流動挙動及び粒径分布に供し、市販の粉末と比較した。結果を下の表３に示す。

【表３】

表３．合金例１粉末と市販粉末との比較

| 材料 | 雪崩角 | ハウスナー比 | 安息角 | ホールフロー | <15μm(%) | 空孔率(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 供給業者Ａ（Ar） | 22° | 1.10 | 32° | 19.3 | 0 | 0.27（27） |
| 供給業者Ｂ（Ar） | 28° | 1.06 | 30° | 21.5 | 0 | 0.33（39） |
| 供給業者Ｃ（Ar） | 37° | 1.21 | 40° | 流動せず | 0 | 1.44(37) |
| 供給業者Ｃ（N2） | 30° | 1.09 | 33° | 22.1 | 0 | 0.18（19） |
| 合金例１ | 29° | 1.11 | 33° | 18.8 | 0 | 0.14（10） |

【００３０】

合金例粉末から得た冶金試験片を、光学電子顕微鏡、Ｘ線回折及び電子線後方散乱回折（ＥＢＳＤ）によって特性評価した。合金例１については、実験用クーポンを、ＥＯＳ Ｍ２９０装置（ＥＯＳ Ｎｏｒｔｈ Ａｍｅｒｉｃａ（Ｎｏｖｉ，Ｍｉｃｈｉｇａｎ）から入手）で、４０℃に予熱したビルドプレート上に作製した。ビルド工程は、走査回転角度６７°での二方向ビーム走査を含んだ。全てのクーポンは、同じビルドパラメータ（レーザー出力１９５Ｗ、走査速度７５０ｍｍ／ｓ、ハッチ間隔０．１ｍｍ、積層暑さ４０μｍ）を使用して作製した。

合金例２については、実験用クーポンを、ＥＯＳ Ｍ２９０装置（ＥＯＳ Ｎｏｒｔｈ Ａｍｅｒｉｃａ（Ｎｏｖｉ，Ｍｉｃｈｉｇａｎ）から入手）で、１８０℃に予熱したビルドプレート上に作製した。ビルド工程は、走査回転角度６７°での二方向ビーム走査を含んだ。全てのクーポンは、同じビルドパラメータ（レーザー出力１９５Ｗ、走査速度７５０ｍｍ／ｓ、ハッチ間隔０．１ｍｍ、積層暑さ４０μｍ）を使用して作製した。

【００３１】

ａｓ－ｂｕｉｌｔで光学顕微鏡写真を撮影した。写真を図１Ａ（ｘ－ｙ試験片、ビルドプレートに平行）、図１Ｂ（ｚ試験片、ビルドプレートに垂直）に示す。図１Ａ及び図１

Ｂに示すように、合金例１は、主にマルテンサイト系ミクロ構造を有する。

Ｖｕｎｎａｍ，Ｓｗａｔｈｉ，Ａｂｈｉｎａｖ Ｓａｂｏｏ，Ｃｈａｎｔａｌ Ｓｕｄｂｒａｃｋ，ａｎｄ Ｔｈｏｍａｓ Ｌ．Ｓｔａｒｒ．「Ｅｆｆｅｃｔ ｏｆ ｐｏｗｄｅｒ ｃｈｅｍｉｃａｌ ｃｏｍｐｏｓｉｔｉｏｎ ｏｎ ｔｈｅ ａｓ－ｂｕｉｌｔ ｍｉｃｒｏｓｔｒｕｃｔｕｒｅ ｏｆ １７－４ ＰＨ ｓｔａｉｎｌｅｓｓ ｓｔｅｅｌ ｐｒｏｃｅｓｓｅｄ ｂｙ ｓｅｌｅｃｔｉｖｅ ｌａｓｅｒ ｍｅｌｔｉｎｇ．」Ａｄｄｉｔｉｖｅ Ｍａｎｕｆａｃｔｕｒｉｎｇ３０（２０１９）：１００８７６に概説されている方法を使用して、ＥＢＳＤ画像品質マップを用いてフェライト相（黄）、マルテンサイト相（青）及びオーステナイト相（赤）を識別及び定量した。図２は、合金例１の相分析に使用したＥＢＳＤ画像を示す。図３は、合金例２の相分析に使用したＥＢＳＤ画像を示す。図３に示すように、合金例２のフェライトは目に見えず（１％未満）、オーステナイト（赤）は目に見えず、９９％はマルテンサイトである。

【００３２】

下の表４にａｓ－ｂｕｉｌｔ合金例１及びａｓ－ｂｕｉｌｔ合金例２の全相分率を示す。

【表４】

表４．表１に示したａｓ－ｂｕｉｌｔ合金例１及び市販の粉末の全相分率

| 合金 | δ－フェライト（相分率、％） | オーステナイト（相分率、％） | マルテンサイト（相分率、％） |
|---|---|---|---|
| 合金例１ | 11 | 17 | 72 |
| 合金例２ | ＜１ | ＜１ | 99 |
| 供給業者Ａ（Ar） | 20 | 3.7 | 75 |
| 供給業者Ｂ（Ar） | 95 | <1% | 5 |

【００３３】

合金例１及び合金例２の引張及び硬度試験も実施した。結果を下の表５及び表６に示す。Ａｒアトマイズ処理粉末から作製したクーポンに、次の２つの熱処理を施した：（１）溶体化及びＨ９００（ここで、「Ｈ９００」は、４８２℃（９００°Ｆ）で１時間の熱処理である）、及び（２）溶体化なしで直接Ｈ９００硬化。市販の粉末のみを熱処理した－合金例１及び合金例２の試料にはいかなる後処理も施さなかった。

【００３４】

ワイヤーＥＤＭ平坦「ダンベル形」（ｄｏｇ ｂｏｎｅ）試験片を、ａｓ－ｂｕｉｌｔ及び熱処理クーポンから切り出した。市販の鍛錬用１７－４ＰＨの棒材を、ベースラインとして使用するために購入した。この鍛錬材は、受領した状態で、既に溶体化されていた（状態Ａ）。引張試験片の長軸は、ビルドプレートに水平（ＸＹ）又はビルドプレートに垂直（Ｚ）のいずれかであり、張力をかけて試験した。粉末と熱処理との各組合せについて、３つの試験を実施した。硬度は、Ｗｉｌｓｏｎ Ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔｓ Ｒｏｃｋｗｅｌｌ ５００硬度計を用いて測定した。

【００３５】

表５及び表６に示すように、合金例１及び合金例２のａｓ－ｂｕｉｌｔ特性はいずれも、市販の１７－４ＰＨ粉末のａｓ－ｂｕｉｌｔ特性を超えている。表５及び表６に示すように、合金例１及び合金例２のａｓ－ｂｕｉｌｔ特性はいずれも、エージングした（ｈ９００）市販の粉末の極限引張強さと等しい。

【表５】

表５．合金例１（Ｚ試験片）、合金例２（Ｚ試験片）、市販の鍛錬用合金（１７－４ＰＨ）、及び市販合金（供給業者Ａ（Ａｒ）、Ｚ試験片）の引張特性

| 状態 | 試料 | 0.2%弾性オフセット降伏強さ（MPa） | 極限引張強さ（MPa） | 全伸び（%） |
|---|---|---|---|---|
| as-built | 合金例１ | 1457.5 ± 11.5 | 1711 ± 19 | 11.5 ± 0.7 |
| as-built(180℃予熱ビルドプレート) | 合金例２ | 1038 | 1540 | 12 |
| 溶体化 | 鍛錬用17-4PH | 841 ± 13 | 1080 ± 13 | 13.1 ± 1.1 |
| 溶体化及び硬化 | 鍛錬用17-4PH | 1371 ± 52 | 1523 ± 18 | 17.3 ± 1.2 |
| as-built | 供給業者A(Ar) | 856±23 | 917±27 | 11±0.6 |
| 硬化 | 供給業者A(Ar) | 1389±7 | 1467±11 | 9.4±1 |
| 溶体化及び硬化 | 供給業者A(Ar) | 1322±2 | 1401±9 | 10±0.5 |

【表６】

表６．合金例１（ＸＹ試験片）、合金例２（ＸＹ試験片）、市販の鍛錬用合金（１７－４ＰＨ）、及び市販合金（供給業者Ａ（Ａｒ）、ＸＹ試験片）の引張特性

| 状態 | 試料 | 0.2%弾性オフセット降伏強さ(MPa) | 極限引張強さ(MPa) | 全伸び（%） | 硬度(HRC) |
|---|---|---|---|---|---|
| as-built | 合金例１ | 1004 ± 40 | 1498 ± 48 | 20.6 ± 0.2 | 47.6 |
| Stage I焼戻し(200℃/1時間) | 合金例１ | | | | 46 |
| as-built（180℃予熱ビルドプレート） | 合金例２ | 1132 | 1480 | 12 | |
| 溶体化 | 鍛錬用17-4PH | 841 ± 13 | 1080 ± 13 | 13.1 ± 1.1 | |
| 溶体化及び硬化 | 鍛錬用17-4PH | 1371 ± 52 | 1523 ± 18 | 17.3 ± 1.2 | 48.2 |
| as-built | 供給業者A(Ar) | 910±8 | 1084±13 | 15.3±0.8 | 34.5 |
| 硬化(H900) | 供給業者A(Ar) | 1263±40 | 1467±11 | 9.4±1 | 46.8 |
| 溶体化及び硬化 | 供給業者A(Ar) | 1335±36 | 1425±40 | 10.7±1.4 | 45.1 |

【００３６】

供給業者Ｃ（Ａｒ）（２）（１５．６質量％のＣｒ、４．０３質量％のＮｉ、０質量％のＭｏ、０．３３質量％のＮｂ＋Ｔａ、０．０１質量％のＣ、０．０１質量％のＮ、３．８９質量％のＣｕ、０．２４質量％のＭｎ、及び０．２９質量％のＳｉ、残部のＦｅ）の疲労性能を、合金例１と比較した。ＡＳＴＭ　Ｅ４６６－１５（２０１５）を使用して疲労性能を試験した。試験条件はＲ＝－１（完全可逆的引張－圧縮状態で試験）及び１０Ｈｚであった。ａｓ－ｂｕｉｌｔ合金の結果を図４に示す。この結果は、合金例１が、供給業者Ｃ（Ａｒ）（２）合金と比べて、全ての応力振幅において優れた疲労特性を示し、$10^7$サイクルにおいて、より高い疲労限度を示すことを表す。

【００３７】

腐食試験は、３．５％ＮａＣｌ溶液及び０．５ｍＶ／ｓの走査速度を用いて行う動電位走査を用いて実施した。５回の走査を平均した結果を、図５及び表７（下）に、上の表２に記載した種々の粉末と共に示す。図５の結果は、合金例１が、試験した市販合金と比較

して、相対的に高い孔食電位を有することを示す。

【表７】

表７．市販粉末と比較した合金例１の腐食特性（動電位走査を用いて測定した孔食電位；ＡＳＴＭ－Ｇ９１）

| 合金 | 状態 | 孔食電位（mV SCE） |
|---|---|---|
| 合金例１ | as-built | 30.9 |
| 供給業者Ａ（Ar） | as-built | -28.5 |
| 供給業者Ｃ（Ar） | as-built | -16.8 |

【００３８】

環境的に誘発される水素応力割れの開始に対する下限応力拡大係数も、合金例１、合金例２及び種々の市販粉末について試験した。試験は、ＡＳＴＭ Ｆ１６２４－１２（２０１８）を使用して、－１．１Ｖ及び－０．３Ｖ（開回路電位（ＯＣＰ）付近）の印加電位で実施した。結果を下の表８に示す。表８に示すように、合金例１及び合金例２は両方とも、市販の１７－４ＰＨと比べて非常に強い室温靭性（又は$K_{IC}$）を有し、腐食環境下では、ほぼ同じＫＩＳＣＣ値を有する。

【表８】

表８．ＡＳＴＭ Ｆ１６２４を使用して－１．１Ｖ及び－０．３Ｖ（ＯＣＰ付近）の印加電圧で測定した合金例１、合金例２の$K_{I-EHE}$（環境的に誘発される水素応力割れの開始に対する下限応力拡大係数）及び市販粉末との比較

| | $K_{I-EHE}$（下限応力拡大係数） | | | |
|---|---|---|---|---|
| 合金 | 状態 | 電位なし | 開回路電位、3.5% NaCl中 | -1.1V、3.5% NaCl中 |
| 合金例１ | as-built | 230.1 | 44.1 | 22.6 |
| 合金例２ | as-built | 190.1 | 88.85 | 24.1 |
| 供給業者Ａ（Ar） | as-built | 86.3 | | 28.4 |
| 供給業者Ｃ（Ar） | as-built | 76.6 | 74.8 | 30 |
| 供給業者Ｃ（N2） | as-built | 41.2 | 28.5 | 17.2 |

【００３９】

図６は、市販の合金と実験合金例１との室温靭性及び応力腐食割れ（ＳＣＣ）抵抗性を比較したグラフを示す。$K_{IC}$（室温靭性）試験は、ＡＳＴＭ Ｅ３９９－２２に従って実施した。ＫＩＳＣＣ試験は、ＡＳＴＭ Ｆ１６２４－１２（２０１８）に従って実施した。

図７は、図６に示す実験合金例１の光学顕微鏡写真であり、この顕微鏡写真から擬へき開が見える。図８は、図６に示す供給業者Ｃ（Ａｒ）の光学顕微鏡写真であり、顕微鏡写真から粒内へき開が見える。図９は、図６に示す実験鍛錬用１７－４（Ｈ１０２６）の光学顕微鏡写真であり、顕微鏡写真から粒界へき開が見える。図７、図８、及び図９における亀裂面は、ビルド方向（ｚ方向）に水平である。

図６、図７、図８、及び図９に示すように、合金例１は、供給業者Ｃ（Ａｒ）及び鍛錬用１７－４（Ｈ１０２５）の両方に匹敵する強度レベルを維持しながら、改良された靭性を有する。合金例１は、同程度の$K_{ISCC}$値と、好ましい（擬へき開）破壊モードとを有する。合金例１は、粒界脆化に対する抵抗性の増強も示す。

【００４０】

本明細書における数値範囲の記述に関して、該数値範囲の間に介在する各数値は、同一の正確度で企図されている。例えば、６～９という範囲に対して、数値７及び８が、６及び９に加えて企図されており、また６．０～７．０という範囲に対して、値６．０、６．１、６．２、６．３、６．４、６．５、６．６、６．７、６．８、６．９及び７．０が企図されている。別の実施例では、圧力範囲が大気圧と別の圧力との間として記載されると

き、大気圧である圧力は明示的に企図される。
上記の詳細な説明及び付随する実施例は、単に例示的なものであり、本開示の範囲の制限とみなされるべきではないことは理解される。開示された実施形態に対する様々な変更及び修正は、当業者にとっては明らかであろう。このような変更及び修正は、化学構造、置換基、誘導体、中間体、合成、組成、処方、又は使用方法に関連するものを含むがこれらに限定されることなく、本開示の精神及び範囲から逸脱することなく実施されてもよい。

【００４１】
完全性のために、本技術に係る様々な態様を、以下の番号付けした実施形態に提示する。

実施形態１．
質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１１％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物
を含む合金。

実施形態２．
質量％で：
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；
０．０４％以下の酸素；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、実施形態１に記載の合金。

実施形態３．
質量％で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１４％～０．１６％の炭素；
０．１２％～０．１８％のチタン；
０．０１％～０．２１％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；及び
０．４％～０．６％のモリブデン
を含む、実施形態２に記載の合金。

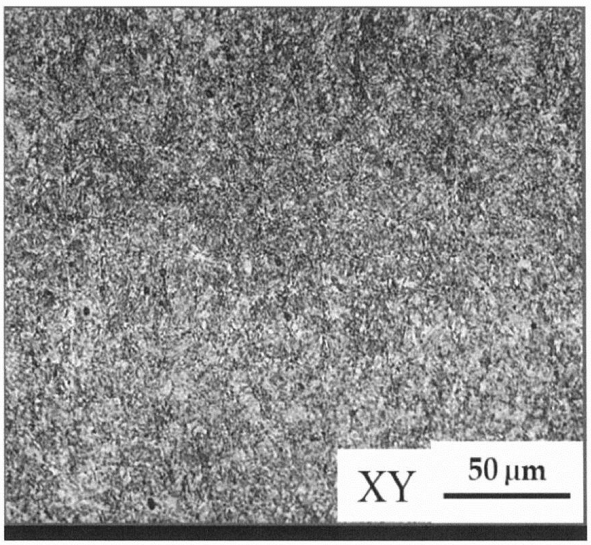
実施形態４．
質量％で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１１％～０．１５％の炭素；及び
０．０２％～０．１４％のチタン
を含む、実施形態２に記載の合金。

実施形態５．
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、
２０％未満のδ－フェライト及び３０％未満のγ－オーステナイトであるミクロ構造と；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；
ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；

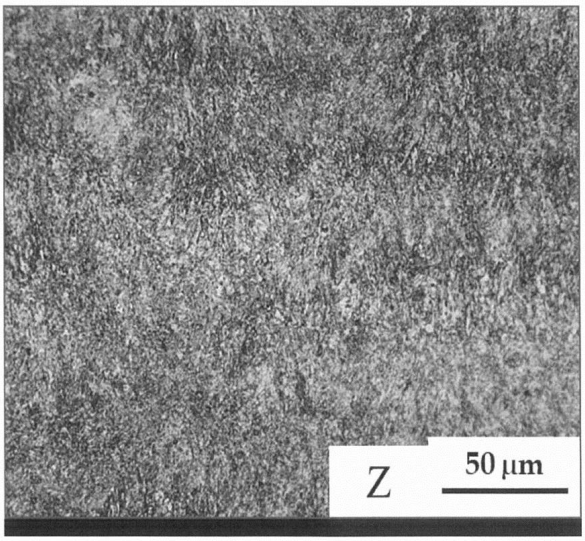
ｘ－ｙ試験片について、約１０００ＭＰａの降伏強さと、
を有する、実施形態３に記載の合金。
実施形態６．
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、
１％未満のδ－フェライト、１％未満のγ－オーステナイト、及び約９９％のマルテンサイトであるミクロ構造と；
ｘ－ｙ試験片について、１０％～１４％の伸びと；
ｘ－ｙ試験片について、１１２５ＭＰａ～１１３５ＭＰａの降伏強さと、
を有する、実施形態４に記載の合金。
実施形態７．
付加製造工程を施された後、及び／又はエージングの後、$Fe_{2.4}C$粒子を含むミクロ構造を有する、実施形態１～６のいずれか一項に記載の合金。
実施形態８．
クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．７～２．９である、実施形態１～７のいずれか一項に記載の合金。
実施形態９．
付加製造に使用可能なアトマイズ合金粉末であって、
質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１１％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；
０．０４％以下の酸素；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物
を含む、合金粒子
を含む、アトマイズ合金粉末。
実施形態１０．
合金粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１２％～０．１４％の炭素；及び
０．０６％～０．１０％のチタン；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、実施形態９に記載のアトマイズ合金粉末。
実施形態１１．
合金粒子は、質量％で、
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１３％～０．１７％の炭素；
０．１３％～０．１７％のチタン；
０．４％～０．６％のモリブデン；
０．０５％～０．１５％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；
０．０１％以下のニオブ；及び
０．０１％以下のケイ素
を含む、実施形態９に記載のアトマイズ合金粉末。

実施形態１２．
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、
３０％未満のδ－フェライト及びγ－オーステナイトであるミクロ構造と、ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；
を有する、実施形態１２に記載のアトマイズ合金粉末。
実施形態１３．
付加製造工程を施された後、エージング又は溶体化熱処理を施されずに、ｘ－ｙ試験片について、約１０００ＭＰａ～約１１４０ＭＰａの降伏強さを有する、実施形態９～１２のいずれか一項に記載のアトマイズ合金粉末。
実施形態１４．
付加製造におけるアトマイズ合金粉末の使用方法であって、
合金化された粒子を含むアトマイズ合金粉末を受け取るステップであって、上記合金化された粒子は、質量％で：
１３．２５％～１４．７５％のクロム；
４．５％～５．５％のニッケル；
０．１３％～０．１７％の炭素；
０．０１％～０．３１％のチタン；
０．０１％以下のニオブ；
０．０１％以下のケイ素；
０．０１％以下の銅；
０．０１％以下のマンガン；
０．０２％以下の窒素；及び
０．０４％以下の酸素；及び
残部質量％の鉄並びに偶発元素及び不純物を含む、ステップと、
上記アトマイズ合金粉末を用いた付加製造を実施して、製造物品を生成するステップであって、上記付加製造は、アルゴン（Ａｒ）雰囲気下で実施される、ステップと、
製造物品を取り出すステップと、
を含む、方法。
実施形態１５．
合金化された粒子は、質量％で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１４％～０．１６％の炭素；
０．１２％～０．１８％のチタン；
０．０１％～０．２１％のバナジウム；
０．４％～０．６％のタングステン；及び
０．４％～０．６％のモリブデン；
を含む、実施形態１４に記載の方法。
実施形態１６．
合金化された粒子は、質量％で：
１３．７５％～１４．２５％のクロム；
４．７５％～５．２５％のニッケル；
０．１１％～０．１５％の炭素；及び
０．０２％～０．１４％のチタン；
を含む、実施形態１４に記載の方法。
実施形態１７．
完成した製造物品は：
３０％未満のδ－フェライト及びγ－オーステナイトであるミクロ構造と；
４４～５０ＨＲＣの硬度値と；

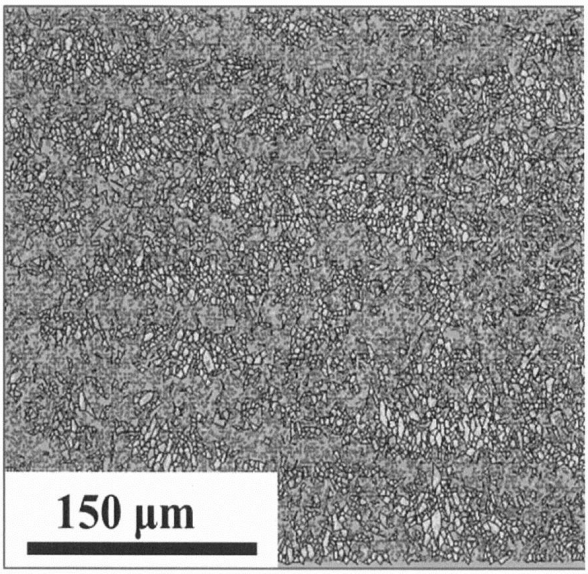
ｘ－ｙ試験片について、１５％～約２１％の伸びと；
を有する、実施形態１６に記載の方法。
実施形態１８．
ビルドプレートを温度１７５℃～２００℃の温度に予熱するステップを更に含み；
完成した製造物品は：
１％未満のδ－フェライト、１％未満のγ－オーステナイト、及び約９９％のマルテンサイトであるミクロ構造と；
ｘ－ｙ試験片について、１０％～１４％の伸びと；
ｘ－ｙ試験片について、１１２５ＭＰａ～１１３５ＭＰａの降伏強さと、
を有する、実施形態１７に記載の方法。
実施形態１９．
合金化された粒子は、クロムのニッケルに対する比が、質量で、２．７～２．９である、実施形態１４～１８のいずれか一項に記載の方法。
実施形態２０．
完成した製造物品は：
１８５～２３５の室温靭性（$K_{IC}$）；及び
０ｍＶ　ＳＣＥ超の孔食電位
を有する、実施形態１４～１９のいずれか一項に記載の方法。
実施形態２１．
実施形態１４～２０のいずれか一項に記載の方法を用いて製造された製造物品。
【図面】
【図１Ａ】



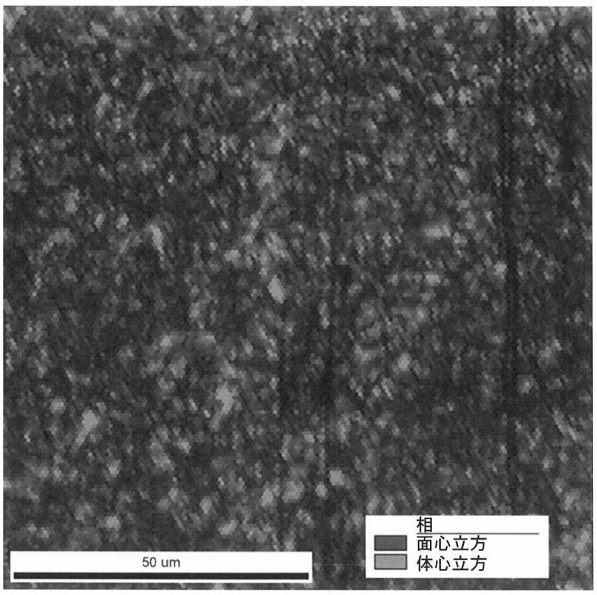

【図１Ｂ】



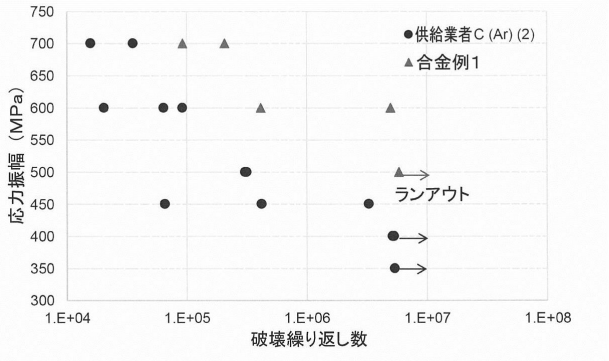
【図２】


150 μm

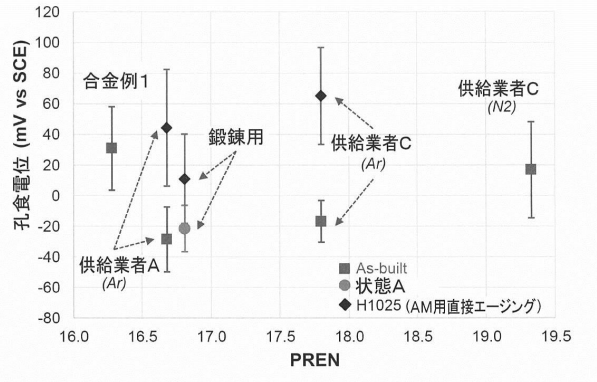
【図３】


50 um
相
面心立方
体心立方

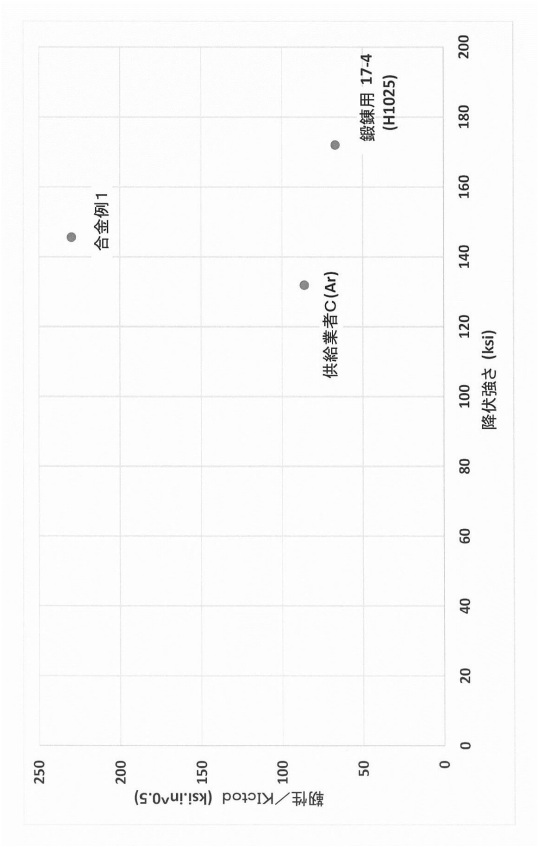
【図４】


750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
応力振幅（MPa）
1.E+04
1.E+05
1.E+06
1.E+07
1.E+08
破壊繰り返し数
●供給業者C (Ar) (2)
▲合金例1
ランアウト

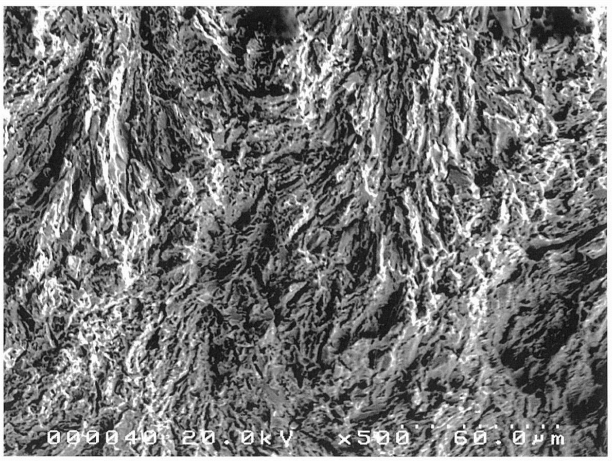
【図５】


120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
孔食電位 (mV vs SCE)
16.0
16.5
17.0
17.5
18.0
18.5
19.0
19.5
PREN
合金例1
鍛錬用
供給業者A
(Ar)
供給業者C
(Ar)
供給業者C
(N2)
As-built
状態A
H1025 (AM用直接エージング)

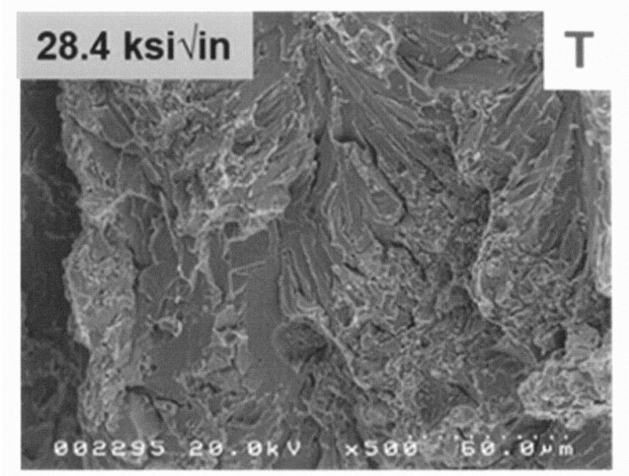
【図６】



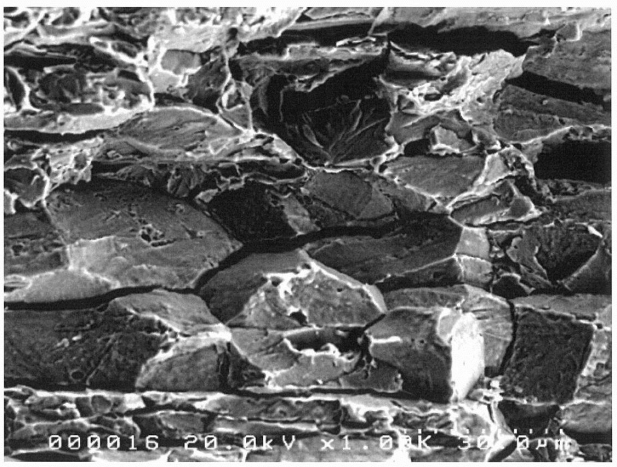

【図７】




【図８】




【図９】




【外国語明細書】
20230678650000019.pdf

フロントページの続き

| (51)国際特許分類 | | | FＩ | | テーマコード（参考） |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Ｂ２２Ｆ*** | ***12/17*** | ***(2021.01)*** | Ｂ２２Ｆ | 12/17 | |
| ***Ｂ２２Ｆ*** | ***10/64*** | ***(2021.01)*** | Ｂ２２Ｆ | 10/64 | |
| ***Ｂ３３Ｙ*** | ***70/00*** | ***(2020.01)*** | Ｂ３３Ｙ | 70/00 | |
| ***Ｂ３３Ｙ*** | ***10/00*** | ***(2015.01)*** | Ｂ３３Ｙ | 10/00 | |
| ***Ｂ３３Ｙ*** | ***80/00*** | ***(2015.01)*** | Ｂ３３Ｙ | 80/00 | |
| *Ｂ２２Ｆ* | *10/28* | *(2021.01)* | Ｂ２２Ｆ | 10/28 | |
| *Ｂ２２Ｆ* | *10/25* | *(2021.01)* | Ｂ２２Ｆ | 10/25 | |
| *Ｂ２２Ｆ* | *1/05* | *(2022.01)* | Ｂ２２Ｆ | 1/05 | |

弁理士　市川 さつき
(74)代理人　100111796
弁理士　服部 博信
(74)代理人　100123766
弁理士　松田 七重
(74)代理人　100212509
弁理士　太田 知子
(72)発明者　アビナブ サブー
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０ クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー内
(72)発明者　リカルド コマイ
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０ クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー内
(72)発明者　ダナ フランケル
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０ クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー内
(72)発明者　マリー トーマス
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０ クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー内
(72)発明者　グレッグ オルソン
アメリカ合衆国 イリノイ州 ６０２０１ エバンストン リッジ アベニュー １８２０ クエステック イノベーションズ リミテッド ライアビリティ カンパニー内

Ｆターム（参考）　4K017　AA04 BA06 BB04 BB06 BB10 CA07 FA15
4K018　AA33 BA17 BB04 BB10 DA31 FA08