

明 細 書

発明の名称：金属部材の接合方法及び金属部材接合体

技術分野

[0001] 本開示は、金属部材の接合方法及び金属部材接合体に関する。

背景技術

[0002] 高温で運転するガスタービンや化学プラント等に用いられる金属部材には、Ni合金やFe合金等の耐熱合金が使用されている。接合箇所のある構造部材では、高い継手強度やシール性が担保できる拡散接合が適用されることがある（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-161885号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、上記のような耐熱合金には、機械的強度等を向上させるために、炭化物を含有する炭化物含有Ni合金や炭化物含有Fe合金が用いられている。一方、炭化物含有Ni合金や炭化物含有Fe合金で形成された金属部材の拡散接合には、固相拡散接合が適用されることがある。

[0005] しかし、炭化物含有Ni合金や炭化物含有Fe合金で形成された金属部材の各々接合面を直接突き合せて固相拡散接合する場合には、炭化物が接合界面に沿って存在することにより、接合界面がクラックの伝播経路になる可能性がある。その結果、金属部材接合体の機械的強度が低下する場合がある。

[0006] そこで本開示の目的は、機械的強度をより向上させることが可能な金属部材の接合方法及び金属部材接合体を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示に係る金属部材の接合方法は、炭化物含有Ni合金同士または炭化物含有Fe合金同士で形成されている第1金属部材及び第2金属部材の間に

、インサート材を挟んで積層体を形成する積層体形成工程と、前記積層体を加熱加圧することにより固相拡散接合して金属部材接合体を形成する固相拡散接合工程と、を備え、前記インサート材は、前記第1金属部材及び前記第2金属部材が前記炭化物含有Ni合金同士で形成されている場合には、前記第1金属部材及び前記第2金属部材のNiの含有率よりも大きい含有率のNiを含み、前記第1金属部材及び前記第2金属部材が前記炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、前記第1金属部材及び前記第2金属部材のFeの含有率よりも大きい含有率のFeまたはNiを含む。

[0008] 本開示に係る金属部材の接合方法において、前記第1金属部材及び前記第2金属部材は、前記炭化物含有Ni合金同士で形成されており、前記インサート材は、前記第1金属部材及び前記第2金属部材のNiの含有率よりも大きい含有率のNiを含むようにしてもよい。

[0009] 本開示に係る金属部材の接合方法において、前記インサート材は、純Niで形成されていてもよい。

[0010] 本開示に係る金属部材の接合方法は、前記金属部材接合体を熱処理して、前記第1金属部材及び前記第2金属部材の接合部の結晶粒を、前記接合部の接合界面を跨いで成長させる熱処理工程を備えていてもよい。

[0011] 本開示に係る金属部材接合体は、炭化物含有Ni合金同士または炭化物含有Fe合金同士で形成されている第1金属部材及び第2金属部材と、前記第1金属部材と、前記第2金属部材との間に設けられ、拡散層で形成される接合部と、を備え、前記接合部の接合界面は、炭化物が析出していない。

[0012] 本開示に係る金属部材接合体において、前記第1金属部材及び前記第2金属部材は、前記炭化物含有Ni合金同士で形成されていてもよい。

[0013] 本開示に係る金属部材接合体において、前記接合部の結晶粒が、前記接合界面を跨いでいてもよい。

発明の効果

[0014] 上記構成によれば、第1金属部材と第2金属部材との間の接合界面の炭化物を抑制できるので、金属部材接合体の機械的強度を向上させることができ

る。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本開示の実施の形態において、金属部材の接合方法の構成を示すフローチャートである。

[図2]本開示の実施の形態において、積層体の構成を示す図である。

[図3]本開示の実施の形態において、金属部材接合体の構成を示す図である。

[図4]本開示の実施の形態において、各供試体の引張試験結果を示すグラフである。

[図5]本開示の実施の形態において、各供試体のクリープ試験結果を示すグラフである。

[図6]本開示の実施の形態において、比較例 1 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。

[図7]本開示の実施の形態において、実施例 1 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。

[図8]本開示の実施の形態において、実施例 2 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。

[図9]本開示の実施の形態において、比較例 2 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に本開示の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。図 1 は、金属部材の接合方法の構成を示すフローチャートである。金属部材の接合方法は、積層体形成工程（S 1 0）と、固相拡散接合工程（S 1 2）と、を備えている。

[0017] 積層体形成工程（S 1 0）は、炭化物含有 N i 合金同士または炭化物含有 F e 合金同士で形成されている第 1 金属部材及び第 2 金属部材の間に、インサート材を挟んで積層体を形成する工程である。図 2 は、積層体 1 0 の構成を示す図である。積層体 1 0 は、第 1 金属部材 1 2 と、第 2 金属部材 1 4 との間に、インサート材 1 6 を挟んで構成されている。第 1 金属部材 1 2 及び

第2金属部材14は、炭化物含有Ni合金同士または炭化物含有Fe合金同士で形成されている。第1金属部材12及び第2金属部材14は、炭化物含有Ni合金同士で形成されていてもよいし、炭化物含有Fe合金同士で形成されていてもよい。

[0018] 炭化物含有Ni合金は、炭化物を含み、合金の主成分がNiで構成されているNi合金である。合金の主成分とは、合金成分の中で最も含有率が高い合金元素のことである（以下同じ）。炭化物含有Ni合金は、合金成分としてCを含んでいる。Cの含有率は、例えば、0.01質量%から1質量%とすることができる。炭化物含有Ni合金には、MoやW等を固溶させた固溶強化型のNi合金や、 γ' 相を析出させた析出強化型のNi合金等を用いることが可能である。

[0019] 炭化物含有Ni合金には、例えば、Haynes 230合金を用いることができる。Haynes 230合金は、炭化物を含む固溶強化型のNi合金である。Haynes 230合金の合金組成は、例えば、22質量%のCr（クロム）と、14質量%のW（タングステン）と、2質量%のMo（モリブデン）と、3質量%以下のFe（鉄）と、5質量%以下のCo（コバルト）と、0.5質量%のMn（マンガン）と、0.4質量%のSi（珪素）と、0.5質量%以下のNb（ニオブ）と、0.3質量%のAl（アルミニウム）と、0.1質量%以下のTi（チタン）と、0.1質量%のC（炭素）と、0.02質量%のLa（ランタン）と、0.015質量%以下のB（硼素）と、を含み、残部がNi（ニッケル）と不可避免的不純物とにより構成されている。Haynes 230合金に含まれる炭化物は、Cr炭化物やW炭化物等である。炭化物は、結晶粒内や結晶粒界等に析出している。

[0020] 炭化物含有Fe合金は、炭化物を含み、合金の主成分がFeで構成されているFe合金である。炭化物含有Fe合金は、合金成分としてCを含んでいる。Cの含有率は、例えば、0.01質量%から1.2質量%とすることができる。

[0021] 炭化物含有Fe合金には、ステンレス鋼を用いることが可能である。ステ

ステンレス鋼には、オーステナイト系ステンレス鋼、フェライト系ステンレス鋼、オーステナイト・フェライト系ステンレス鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼、析出硬化型ステンレス鋼等を用いることができる。

[0022] 第1金属部材12及び第2金属部材14が、炭化物含有Ni合金同士で形成されている場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14は、同じ炭化物含有Ni合金で形成されていてもよいし、異なる炭化物含有Ni合金で形成されていてもよい。例えば、第1金属部材12がHaynes 230合金で形成されている場合には、第2金属部材14は、Haynes 230合金で形成されていてもよいし、Haynes 230合金と異なる炭化物含有Ni合金で形成されていてもよい。

[0023] 第1金属部材12及び第2金属部材14が、炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14は、同じ炭化物含有Fe合金で形成されていてもよいし、異なる炭化物含有Fe合金で形成されていてもよい。

[0024] インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14の間に挟んで設けられている。より詳細には、インサート材16は、第1金属部材12の接合面と、第2金属部材14の接合面との間に挿入されている。

[0025] インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Ni合金同士で形成されている場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14のNiの含有率よりも大きい含有率のNiを含み、第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14のFeの含有率よりも大きい含有率のFeまたはNiを含んでいる。

[0026] インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14のNiまたはFeの含有率よりも大きい含有率のNiまたはFeを含んでいることから、固相拡散接合時に、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面及びその近傍にある炭化物をインサート材16に固溶させることができる。これにより、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面に沿って炭化

物が存在することを抑制することが可能となる。このように、インサート材 16 は、固相拡散接合時に、接合界面及びその近傍にある炭化物を固溶可能に形成されている。

[0027] より詳細には、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面に沿って炭化物が存在する場合には、クラックが発生する場合や、クラックの伝播経路となる可能性がある。また、接合界面に沿って炭化物が存在すると、炭化物が拡散障壁となって相互の固相拡散が阻害されることにより接合強度が低下する場合がある。インサート材16によれば、固相拡散接合時に炭化物を固溶することにより、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面に沿って炭化物が存在することを抑制することができる。これにより固相拡散を促進すると共に、クラックの発生を抑制することが可能となる。

[0028] 第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Ni合金同士で形成されている場合には、インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14のNiの含有率よりも大きい含有率のNiを含むNi合金で形成されていてもよいし、純Niで形成されていてもよい。純Niには、純度が99%以上のものを用いるとよい。

[0029] 第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14のFeの含有率よりも大きい含有率のFeを含むFe合金で形成されていてもよいし、純Feで形成されていてもよい。純Feには、純度が99%以上のものを用いるとよい。また、第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、インサート材16は、第1金属部材12及び第2金属部材14のFeの含有率よりも大きい含有率のNiを含むNi合金で形成されていてもよいし、純Niで形成されていてもよい。純Niには、純度が99%以上のものを用いるとよい。

[0030] インサート材16が純Niや純Feで形成されている場合には、インサート材16がNi合金やFe合金で形成されている場合よりも、インサート材16が軟質となり塑性変形し易くなる。このため、固相拡散接合時に、第1

金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の接合面にインサート材 1 6 を密着させることができる。

[0031] インサート材 1 6 は、シートや箔等で形成することが可能である。インサート材 1 6 は、例えば、純 Ni 箔や純 Fe 箔等で形成されているとよい。インサート材 1 6 の厚みは、20 μm 以下とすることが可能である。インサート材 1 6 の厚みが 20 μm より大きい場合には、固相拡散に長時間を要する場合があるからである。インサート材 1 6 の厚みは、5 μm 以上 10 μm 以下とするとよい。

[0032] 第 1 金属部材 1 2、第 2 金属部材 1 4 及びインサート材 1 6 については、積層する前に、表面粗さの調整や、脱脂洗浄等の前処理を行うようにしてもよい。

[0033] 固相拡散接合工程 (S 1 2) は、積層体 1 0 を加熱加圧することにより固相拡散接合して金属部材接合体を形成する工程である。図 3 は、金属部材接合体 2 0 の構成を示す図である。積層体 1 0 を加熱加圧して固相拡散接合することにより、第 1 金属部材 1 2 と第 2 金属部材 1 4 との間には、拡散層からなる接合部 2 2 が形成される。接合部 2 2 の厚みは、例えば、10 μm から 100 μm とすることが可能である。

[0034] より詳細には、積層体 1 0 を加熱加圧することにより、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 と、インサート材 1 6 との間で金属元素が相互に固相拡散することにより拡散層からなる接合部 2 2 が形成される。接合部 2 2 は、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の Ni または Fe の含有率よりも大きい含有率の Ni または Fe を含んで形成されていてもよい。例えば、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 が炭化物含有 Ni 合金同士で形成されている場合には、接合部 2 2 は、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の Ni の含有率よりも大きい含有率の Ni を含んで形成されていてもよい。

[0035] 固相拡散接合時には、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の接合界面 2 4 及びその近傍にある炭化物がインサート材 1 6 に固溶するので、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の接合界面 2 4 には炭化物が析出していな

い。これにより、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面24に沿って炭化物が存在することが抑制されるので、接合界面24がクラックの伝播経路になることを防ぐことができる。この結果、接合部22の接合強度を向上させることができる。

[0036] 第1金属部材12及び第2金属部材14が炭化物含有Ni合金同士であるときの接合条件（接合温度、接合圧力、接合時間及び接合雰囲気）について説明する。接合温度は、1050℃以上1200℃以下とすることが可能である。接合温度が1050℃より低温であると、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面24及びその近傍にある炭化物を十分に固溶できない場合があり、固相拡散が十分に行われずに接合強度が低下する可能性があるからである。接合温度が1200℃より高温であると、結晶粒の成長が大きくなるので、機械的強度が低下する可能性があるからである。接合温度は、1050℃以上1150℃以下とするとよい。

[0037] 接合圧力は、5MPa以上20MPa以下とすることが可能である。接合圧力が5MPaより小さい場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14と、インサート材16との密着性が低下して、固相拡散が十分に行われない可能性があるからである。接合圧力が20MPaより大きい場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14に変形等が生じる可能性があるからである。接合圧力は、5MPa以上10MPa以下とするとよい。

[0038] 接合時間は、4時間以上10時間以下とすることが可能である。接合時間が4時間より短い場合には、第1金属部材12及び第2金属部材14の接合界面24及びその近傍の固相拡散が十分に行われずに接合強度が低下する可能性があるからである。接合時間が10時間以下であるのは、接合時間が10時間であれば接合界面24及びその近傍にある炭化物を十分に固溶させて固相拡散接合が可能であるからである。また、接合時間が10時間より長くなると生産性が低下するからである。

[0039] 接合雰囲気は、真空雰囲気や、アルゴンガス等による不活性ガス雰囲気等の非酸化性雰囲気とするとよい。これにより、第1金属部材12及び第2金

属部材 1 4 や、インサート材 1 6 の接合面の酸化が抑制されるので、固相拡散を促進することができる。真空雰囲気の場合には、 $1.3 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 以下とするとよい。

[0040] 固相拡散接合工程 (S 1 2) の後に、金属部材接合体 2 0 を熱処理して、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の接合部 2 2 の結晶粒を、接合部 2 2 の接合界面 2 4 を跨いで成長させる熱処理工程を備えるようにしてもよい。接合部 2 2 の結晶粒が接合界面 2 4 を跨いで成長することにより、金属部材接合体 2 0 のクリープ特性を向上させることができる。また、金属部材接合体 2 0 を熱処理することにより、接合部 2 2 の組成をより均一にすることが可能となる。

[0041] 第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 が炭化物含有 Ni 合金同士であるときの熱処理条件 (熱処理温度、熱処理時間及び熱処理雰囲気) について説明する。熱処理温度は、 1050°C 以上 1200°C 以下とすることが可能である。熱処理温度が 1050°C より低温である場合には、接合部 2 2 の結晶粒が殆ど成長しない可能性があるからである。熱処理温度が 1200°C より高温であると、第 1 金属部材 1 2 及び第 2 金属部材 1 4 の結晶粒の成長が大きくなるので、機械的強度が低下する可能性があるからである。熱処理温度は、 1050°C 以上 1150°C 以下とするとよい。

[0042] 熱処理時間は、5 時間以上 75 時間以下とすることが可能である。熱処理時間が 5 時間より短いと、接合部 2 2 の結晶粒が十分に成長しない可能性があるからである。熱処理時間が 75 時間以下であるのは、熱処理時間が 75 時間であれば、接合部 2 2 の結晶粒が接合界面 2 4 を跨いで成長するのに十分な時間であるからである。熱処理時間は、50 時間以上 75 時間以下とするとよい。

[0043] 熱処理雰囲気は、真空雰囲気や、アルゴンガス等による不活性ガス雰囲気等の非酸化性雰囲気とするとよい。これにより、熱処理中における金属部材接合体 2 0 の酸化を抑制することができる。熱処理雰囲気は、接合雰囲気と同じとしてもよい。

- [0044] なお、積層体 10 の固相拡散接合には、真空拡散接合装置、真空ホットプレス装置、熱間等方圧加圧（HIP）装置等の一般的な拡散接合装置を用いることができる。また、金属部材接合体 20 の熱処理には、一般的な金属材料の熱処理装置を用いることが可能である。
- [0045] 次に、上記の金属部材の接合方法で接合した金属部材接合体 20 の構成について説明する。金属部材接合体 20 は、炭化物含有 Ni 合金同士または炭化物含有 Fe 合金同士で形成されている第 1 金属部材 12 及び第 2 金属部材 14 と、第 1 金属部材 12 と、第 2 金属部材 14 との間に設けられ、拡散層で形成される接合部 22 と、を備えている。そして、接合部 22 の接合界面 24 は、炭化物が析出していない。
- [0046] より詳細には、接合部 22 は、第 1 金属部材 12、第 2 金属部材 14 及びインサート材 16 の金属元素が相互に固相拡散した拡散層で形成されている。接合部 22 の接合界面 24 及びその近傍では、炭化物が固溶している。このため接合部 22 の接合界面 24 は、炭化物が析出していない。これにより、接合界面 24 に沿って炭化物が存在することによる拡散障壁の形成が抑制されるので、固相拡散が促進されて、接合部 22 の接合強度を高めることが可能となる。また、接合部 22 の接合界面 24 及びその近傍では、炭化物が固溶しているので、接合界面 24 に沿って炭化物が存在することによるクラックの伝播経路の形成が抑制されている。これにより接合部 22 でのクラックの発生や伝播を抑えることができる。この結果、金属部材接合体 20 の引張特性等を向上させることができる。
- [0047] また、固相拡散接合後に熱処理した金属部材接合体 20 では、接合部 22 の結晶粒は、接合部 22 の接合界面 24 を跨いでいる。より詳細には、固相拡散接合後の金属部材接合体 20 を熱処理することにより、接合部 22 の結晶粒が、接合界面 24 を跨いで成長する。接合界面 24 では、結晶粒界と同様にすべり等によるクリープ変形が生じ易いが、接合部 22 の結晶粒が接合界面 24 を跨いで成長していることによりクリープ変形を抑制することができる。これにより、金属部材接合体 20 のクリープ特性等を向上させること

が可能となる。

[0048] このように金属部材接合体20は、引張特性やクリープ特性等の機械的強度に優れている。このため、航空機用や産業用のガスタービンのタービン翼等に適用することが可能である。また、金属部材接合体20は、機械的強度と共に、反応ガス等のシール性に優れていることから、化学プラントの熱交換器や反応器等に適用することができる。

[0049] 以上、上記構成によれば、炭化物含有Ni合金同士または炭化物含有Fe合金同士で形成されている第1金属部材及び第2金属部材の間に、インサート材を挟んで積層体を形成する積層体形成工程と、積層体を加熱加圧することにより固相拡散接合して金属部材接合体を形成する固相拡散接合工程と、を備え、インサート材は、第1金属部材及び第2金属部材が炭化物含有Ni合金同士で形成されている場合には、第1金属部材及び第2金属部材のNiの含有率よりも大きい含有率のNiを含み、第1金属部材及び第2金属部材が炭化物含有Fe合金同士で形成されている場合には、第1金属部材及び第2金属部材のFeの含有率よりも大きい含有率のFeまたはNiを含んで構成されている。これにより、第1金属部材と第2金属部材との接合部の接合界面に沿って炭化物が存在することが抑制されるので、クラックの伝播経路の形成が抑制されると共に、固相拡散を促進することが可能となる。この結果、金属部材接合体において、引張特性等の機械的強度を向上させることができる。

[0050] 上記構成によれば、更に、金属部材接合体を熱処理して、第1金属部材及び第2金属部材の接合部の結晶粒を、接合部の接合界面を跨いで成長させる熱処理工程を備えている。これにより、接合部の結晶粒が、接合部の接合界面を跨いでいるので、クリープ特性等の機械的強度を向上させることができる。

実施例

[0051] Ni合金部材について固相拡散接合を行って機械的強度特性を評価した。

[0052] (供試体の作製)

まず、実施例1の供試体について説明する。Ni合金部材には、固溶強化型の耐熱Ni基合金であるHaynes 230合金を用いた。Haynes 230合金は、Cr炭化物やW炭化物等の炭化物を含む炭化物含有Ni合金である。Haynes 230合金には、上述した合金組成のものを用いた。Ni合金部材の形状は、ブロック状とした。インサート材には、純Ni箔を用いた。純Ni箔には、Niの純度が99%以上のものを使用した。インサート材の厚みは、5 μ mから10 μ mとした。Haynes 230合金同士で形成したNi合金部材と、Ni合金部材との間にインサート材を挟んで積層体を形成した。

[0053] 次に、積層体を真空雰囲気中で加熱加圧して固相拡散接合した。固相拡散接合には、真空拡散接合装置を使用した。接合温度は、1050℃から1150℃とした。接合圧力は、5 MPaから10 MPaとした。接合時間は、4時間から10時間とした。真空度は、 1.3×10^{-2} Pa以下とした。

[0054] 実施例2の供試体について説明する。実施例2の供試体は、実施例1の供試体に対して、固相拡散接合後に熱処理を行っている点で相違している。より詳細には、実施例2の供試体では、まず、実施例1の供試体と同様にして、積層体を形成して固相拡散接合を行った。そして実施例2の供試体では、固相拡散接合した金属部材接合体を熱処理した。金属部材接合体の熱処理には、熱処理炉を使用した。熱処理は、真空雰囲気中で、1050℃から1150℃に加熱することにより行った。熱処理時間は、50時間とした。真空度は、 1.3×10^{-2} Pa以下とした。

[0055] 実施例3の供試体について説明する。実施例3の供試体は、実施例1の供試体に対して、固相拡散接合後に熱処理を行っている点で相違している。また、実施例3の供試体は、実施例2の供試体よりも熱処理時間が長い点で相違している。より詳細には、実施例3の供試体は、実施例1、2の供試体と同様にして、積層体を形成して固相拡散接合を行った。そして実施例3の供試体は、固相拡散接合した金属部材接合体を熱処理した。熱処理は、真空雰囲気中で、1050℃から1150℃に加熱することにより行った。熱処理

時間は、72時間とした。真空度は、 1.3×10^{-2} Pa以下とした。

[0056] 比較例1の供試体について説明する。比較例1の供試体は、実施例1の供試体に対して、インサート材を用いないで固相拡散接合を行った点で相違している。より詳細には、比較例1の供試体は、Ni合金部材の接合面同士を直接突き合せて固相拡散接合した。比較例1の供試体の接合条件（接合温度、接合圧力、接合時間、接合雰囲気等）は、実施例1の供試体と同じである。

[0057] 比較例2の供試体について説明する。比較例2の供試体は、比較例1の供試体に対して、固相拡散接合後に熱処理を行っている点で相違している。より詳細には、比較例2の供試体は、比較例1の供試体と同様にインサート材を用いないで固相拡散接合を行った後に、熱処理して形成した。比較例2の供試体の熱処理条件は、実施例2の供試体の熱処理条件（熱処理温度、熱処理時間、熱処理雰囲気等）と同じとした。

[0058] （引張試験）

実施例1及び比較例1の供試体について、常温で引張試験を行った。引張試験は、ASTM E8/E8Mに準拠して行った。引張試験片は、各供試体から切り出して作製した。試験体数は、各供試体について各々3体とした。図4は、各供試体の引張試験結果を示すグラフである。図4のグラフでは、横軸に各供試体を取り、縦軸に継手効率を取り、各供試体の継手効率を棒グラフで表している。なお、継手効率は、母材であるHaynes 230合金の室温引張強度の規格値（760 MPa）を1としたときの値である。

[0059] 比較例1の供試体は、継手効率が1より小さくなり、母材強度よりも低い引張強度が得られた。比較例1の供試体では、いずれも接合部で破断していた。これに対して実施例1の供試体は、継手効率が1より大きくなり、母材強度と同等の引張強度が得られた。実施例1の供試体では、いずれも接合部ではなく母材で破断していた。この結果から、純Ni箔をインサート材として固相拡散接合することにより、引張特性が向上することがわかった。

[0060] （クリープ試験）

実施例 1 から 3 の供試体について、クリープ試験を行った。クリープ試験は、J I S Z 2 2 7 1 に準拠して行った。クリープ試験片は、各供試体から切り出して作製した。試験体数は、各供試体について各々 3 体とした。図 5 は、各供試体のクリープ試験結果を示すグラフである。図 5 のグラフにおいて、横軸にラーソンミラーパラメータ (Larson-Miller parameter) P を取り、縦軸に応力を取り、実施例 1 の供試体を菱形、実施例 2 の供試体を正方形、実施例 3 の供試体を三角形、母材を丸で示している。なお、ラーソンミラーパラメータ P は、 $P = T (C + \log t_r)$ で表されるパラメータである。 T は、絶対温度 (K) であり、 t_r は、破断時間 (h) であり、 C は、材料定数である。なお、材料定数 C は、20 とした。

[0061] 実施例 2、3 の供試体は、実施例 1 の供試体よりもクリープ特性が向上した。この結果から、固相拡散接合後に熱処理を行うことにより、クリープ特性が向上することがわかった。また、実施例 3 の供試体は、実施例 2 の供試体よりもクリープ特性が向上した。この結果から、固相拡散接合後の熱処理時間を長くすることにより、クリープ特性が向上することがわかった。

[0062] (金属組織観察)

実施例 1、2 の供試体と、比較例 1、2 の供試体とについて、光学顕微鏡により金属組織観察を行った。図 6 は、比較例 1 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。図 7 は、実施例 1 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。図 8 は、実施例 2 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。図 9 は、比較例 2 の供試体の金属組織観察結果を示す写真である。なお、金属組織観察の倍率は、200 倍とした。

[0063] 図 6 に示すように、比較例 1 の供試体では、Ni 合金部材同士の接合界面に沿って炭化物が存在することが認められた。接合界面には、炭化物が密集した層が形成されていた。このように、インサート材を用いないで固相拡散接合した場合には、接合界面に沿って炭化物が存在することがわかった。これにより、比較例 1 の供試体では、引張強度が低下したと考えられる。

[0064] 図 7 に示すように、実施例 1 の供試体では、Ni 合金部材同士の間に拡散

層からなる接合部が形成されていた。実施例 1 の供試体では、接合部の接合界面に炭化物が認められなかった。この結果から、接合界面及びその近傍の炭化物が固溶することにより接合界面に炭化物が析出していないので、接合界面がクラックの伝播経路になることを防ぐことができる。これにより、実施例 1 の供試体では、引張強度が向上したと考えられる。

[0065] 図 8 に示すように、実施例 2 の供試体では、接合部の結晶粒が、接合部の接合界面を跨いで成長していた。これに対して図 7 に示すように、実施例 1 の供試体では、接合部の結晶粒は、接合界面を跨いで成長してはいなかった。この結果から、固相拡散接合後に熱処理することにより、接合部の結晶粒が接合界面を跨いで成長するのでクリープ特性が向上することがわかった。

[0066] 図 9 に示すように、比較例 2 の供試体では、接合界面及びその近傍の結晶粒は、接合界面を跨いで成長してはいなかった。この結果から、インサート材を用いないで固相拡散接合した場合には、固相拡散接合後に熱処理しても、接合界面及びその近傍の結晶粒は、殆ど成長しないことがわかった。

産業上の利用可能性

[0067] 本開示は、金属部材接合体の機械的強度を向上できることから、航空機用や産業用のガスタービンのタービン翼等や、化学プラントの熱交換器や反応器等に適用することが可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 金属部材の接合方法であって、
- 炭化物含有N i 合金同士または炭化物含有F e 合金同士で形成されている第1 金属部材及び第2 金属部材の間に、インサート材を挟んで積層体を形成する積層体形成工程と、
- 前記積層体を加熱加圧することにより固相拡散接合して金属部材接合体を形成する固相拡散接合工程と、
- を備え、
- 前記インサート材は、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材が前記炭化物含有N i 合金同士で形成されている場合には、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材のN i の含有率よりも大きい含有率のN i を含み、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材が前記炭化物含有F e 合金同士で形成されている場合には、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材のF e の含有率よりも大きい含有率のF e またはN i を含む、金属部材の接合方法。
- [請求項2] 請求項1 に記載の金属部材の接合方法であって、
- 前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材は、前記炭化物含有N i 合金同士で形成されており、
- 前記インサート材は、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材のN i の含有率よりも大きい含有率のN i を含む、金属部材の接合方法。
- [請求項3] 請求項2 に記載の金属部材の接合方法であって、
- 前記インサート材は、純N i で形成されている、金属部材の接合方法。
- [請求項4] 請求項1 から3 のいずれか1 つに記載の金属部材の接合方法であって、
- 前記金属部材接合体を熱処理して、前記第1 金属部材及び前記第2 金属部材の接合部の結晶粒を、前記接合部の接合界面を跨いで成長させる熱処理工程を備える、金属部材の接合方法。

- [請求項5] 金属部材接合体であって、
炭化物含有 N i 合金同士または炭化物含有 F e 合金同士で形成されている第 1 金属部材及び第 2 金属部材と、
前記第 1 金属部材と、前記第 2 金属部材との間に設けられ、拡散層で形成される接合部と、
を備え、
前記接合部の接合界面は、炭化物が析出していない、金属部材接合体。
- [請求項6] 請求項 5 に記載の金属部材接合体であって、
前記第 1 金属部材及び前記第 2 金属部材は、前記炭化物含有 N i 合金同士で形成されている、金属部材接合体。
- [請求項7] 請求項 5 または 6 に記載の金属部材接合体であって、
前記接合部の結晶粒が、前記接合界面を跨いでいる、金属部材接合体。