

明 細 書

発明の名称：溶接継手

技術分野

[0001] 本発明は、溶接継手に関し、より詳しくは、優れた耐メタルダスティング性を有する溶接継手に関する。

背景技術

[0002] 水素、メタノール、液体燃料（GTL：Gas to Liquids）やジメチルエーテル（DME）といったクリーンエネルギーの燃料は、今後の大幅な需要増加が予想される。これらの合成ガス製造に欠かせない改質装置には大型で熱効率が低い、量産に適したものが好まれる。また、従来の石油精製や石油化学プラント等における改質装置や石油等を原料とするアンモニア製造装置、水素製造装置等においては、エネルギー効率を高めるために廃熱回収のための熱交換が多用されるようになってきている。

[0003] このような高温ガスの熱を有効活用するためには、従来対象とされてきたよりも低い、400～800℃の温度域における熱交換が重要となってくる。この温度域において反応管や熱交換器等に使用する高Cr-高Ni-Fe合金系金属材料の浸炭現象に伴う腐食が問題となってくる。

[0004] 通常、上述のような反応装置にて製造される合成ガス、すなわちH₂、CO、CO₂、H₂O及びメタン等の炭化水素を含むガスは、反応管等の金属材料と1000℃又はそれ以上の温度で接している。この温度域において金属材料の表面では、FeやNi等よりも酸化傾向の大きいCrやSi等の元素が選択的に酸化され、酸化Crや酸化Si等の緻密な被膜が形成されることによって、腐食が抑制される。ところが、熱交換部分等、相対的に温度の低い部分においては、金属材料の内部から表面への元素の拡散が不十分となるため、腐食抑止効果のある酸化被膜の形成が遅れる。さらに、炭化水素を含む組成のガスは浸炭性へと変化するために金属材料表面からCが侵入して浸炭が生じてくる。

- [0005] エチレン分解炉管等においては、浸炭が進み、C rやF e等の炭化物からなる浸炭相が形成されるとその部分の体積が膨張する。その結果、微細な割れが生じやすくなり、最悪の場合には使用中の管が破断する。また、金属表面が露出すると、表面で金属を触媒とした炭素析出（コーキング）が発生し、管内流路面積の減少や伝熱特性の低下を伴う。
- [0006] 原油の蒸留より得られたナフサのオクタン価を高める接触分解炉の加熱炉管等においても炭化水素と水素からなる浸炭性の厳しい環境となり、浸炭やメタルダスティングが発生する。
- [0007] このような亀裂、損耗や管内閉塞が拡大すると、装置故障等が発生して、操業中断に至る恐れがあり、装置部材としての材料選定に十分な配慮が必要である。
- [0008] このような浸炭やメタルダスティングによる腐食を防止するために、従来から、種々の対策が検討されてきた。
- [0009] 従来、このような装置部材として、高C r－高N i－F e合金が用いられている。例えば、特開2001-107196号公報には、化学組成を規定するとともに、S i、C u又はSの含有量とN b、T a、T i及びZ rの含有量との関係、並びにN i、C o及びC uの含有量の関係を一定範囲に規定した溶接継手が開示されている。この文献では、この溶接継手は硫酸環境下での耐食性及び耐溶接割れ性に優れているとしている。しかし、この溶接継手は、S i含有量が少ないため、メタルダスティングが生じる環境下での使用は困難である。
- [0010] 特開2002-235136号公報には、A lを積極的に含有させるとともに、粒界溶融量と粒界固着力との関係を規定したN i基耐熱合金溶接継手が開示されている。この文献では、この溶接継手は耐浸炭性及び高温強度に優れているとしている。しかし、この溶接継手は、耐メタルダスティング性を確保するためにS i含有量を増やすと、溶接凝固割れが生じやすくなり、耐メタルダスティング性と耐溶接凝固割れ性とを両立することが困難である。

- [0011] 国際公開第2009/107585号には、Si及びCu含有鋼に対し、Cを高めることで溶接熱影響部（以下、HAZ）に発生する割れ感受性の低減を図った金属材料が提案されている。しかし、高C添加は溶接時に発生する凝固割れ感受性を高めるほか、クリープ延性の低下も招く。
- [0012] 特開2007-186727号公報及び特開2007-186728号公報には、P、S、Sb及びBiの1種若しくは2種以上を適正量含有させることによって、ガス解離性吸着（ガス／金属表面反応）を抑制することが提案されている。これらの元素は金属表面に偏析するので、過剰に添加しなくても、浸炭やメタルダスティング腐食を大幅に抑制することができる。しかし、これらの元素は金属表面のみならず金属結晶粒の粒界にも偏析するため、熱間加工性や溶接性に課題が残る。
- [0013] 国際公開第2012/524983号には、Si及びCu含有鋼に対し、C含有量を制限することで凝固割れ感受性を低減し、かつTi及びAl含有量を制限することでHAZ割れ感受性を低減した金属材料が提案されている。しかし、この文献では、金属材料を溶接して構造物として組み上げるために必要な溶接材料について開示されていない。
- [0014] 特開2006-45597号公報には、Tiを適正添加することによって、Siの悪影響を低減した溶接材料及びそれを用いた溶接継手が提案されている。

発明の開示

- [0015] しかしながら、母材及び溶接材料のそれぞれの耐メタルダスティング性を確保できていたとしても、溶接継手を作製した際、溶接の条件によっては溶接金属の耐メタルダスティング性を確保できない場合があることが、本発明者らの検討によって明らかとなった。
- [0016] 本発明の目的は、優れた耐メタルダスティング性を有する溶接継手を提供することである。
- [0017] 本発明による溶接継手は、質量％で、Cr：15.0～35.0％、及びNi：40.0～70.0％を含む化学組成を有する溶接材料を用いて溶接

された溶接継手であって、化学組成が、質量%で、C : 0.03 ~ 0.075%、Si : 0.6 ~ 2.0%、Mn : 0.05 ~ 2.5%、P : 0.04%以下、S : 0.015%以下、Cr : 16.0%を超えて23.0%未満、Ni : 20.0%以上30.0%未満、Cu : 0.5 ~ 10.0%、Mo : 1%未満、Al : 0.15%以下、N : 0.005 ~ 0.20%、O : 0.02%以下、Ca : 0 ~ 0.1%、REM : 0 ~ 0.15%、V : 0%以上0.5%未満、Nb : 0 ~ 2%、残部 : Fe及び不純物である母材と、質量%で、Fe含有量が10 ~ 40%である化学組成を有する初層溶接金属とを備える。

[0018] 本発明によれば、優れた耐メタルダスティング性を有する溶接継手が得られる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図1は、溶接継手の模式的断面図である。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明者らは、溶接継手の耐メタルダスティング性を向上させる方法を検討した。

[0021] 耐メタルダスティング性はSi、Cu及びP等の元素を含有させることで向上する。しかし、これらの元素は、溶接凝固割れ感受性を著しく増大させる。溶接凝固割れは、溶接凝固過程の終了期に近い、主として結晶粒界に膜状の液相が存在する段階において、凝固収縮又は熱収縮により加わる歪が溶接金属の変形能以上になった場合に生ずる。溶接凝固割れ感受性を低減する方法としては、溶接金属の変形能を向上させることも考えられる。しかし、母材成分を変更する必要性が生じて、耐メタルダスティング性を確保するという目的に反することになる。このため、本発明者らは、母材成分を変更することなく、耐メタルダスティング性及び耐溶接凝固割れ性を確保し得る方法を検討した。

[0022] 上述のように、母材及び溶接材料のそれぞれの耐メタルダスティング性を確保できていたとしても、溶接継手を作製した際、溶接の条件によっては溶

接金属の耐メタルダスティング性を確保できない場合がある。詳細なメカニズムは定かではないが、溶接金属中のF e含有量とN i含有量とのバランスが悪い領域において、凝固組織が影響してメタルダスティングが発生しやすくなることが分かった。溶接金属の初層は、母材希釈率の影響を受けやすく、F e含有量とN i含有量とのバランスが悪くなりやすい。そのため、初層が接ガス面になると、メタルダスティングが発生しやすくなる。

[0023] 母材と同等の耐メタルダスティング性を有する溶接継手を得るためには、溶接金属のF e含有量を制限する必要がある。より具体的には、溶接金属の初層のF e含有量が、質量%で、40%以下になるように調整すれば、母材と同等の耐メタルダスティング性を有する溶接継手が得られる。一方、溶接金属の初層のF e含有量が少なすぎても、メタルダスティングが発生しやすくなる。そのため、溶接金属の初層のF e含有量が、質量%で10%以上になるように調整する必要がある。

[0024] 以上の知見に基づいて、本発明による溶接継手は完成された。以下、本発明の一実施形態による溶接継手を詳細に説明する。なお、以下の説明において、元素の含有量の「%」は、質量%を意味する。

[0025] 本実施形態による溶接継手は、Cr: 15.0~35.0%、及びNi: 40.0~70.0%を含む化学組成を有する溶接材料で、母材を溶接したものである。溶接継手は例えば、鋼管同士又は鋼板同士を互いの端部で溶接したものである。溶接継手は、母材と、溶接金属とを備える。溶接金属は、母材の一部と溶接材料とが溶融及び凝固して形成される。初層溶接金属は、F e含有量が10~40%である化学組成を有する。

[0026] [母材の化学組成]

母材は、以下の化学組成を有する。

[0027] C: 0.03~0.075%

炭素(C)は、Cr等と結合して炭化物を形成し、母材の強度を高める。一方、Cが過剰に含有されると、高温でのクリープ延性が低下する。したがって、母材のC含有量は0.03~0.075%である。母材のC含有量の

好ましい下限は0.035%であり、より好ましい下限は0.04%である。
母材のC含有量の好ましい上限は、0.07%である。

[0028] Si : 0.6 ~ 2.0 %

珪素 (Si) は、酸素との親和力が強く、 Cr_2O_3 等の保護性酸化スケール層の下層にSi系酸化スケールを形成し、浸炭性ガスを遮断する。一方、Siが過剰に含有されると、熱間加工性及び溶接性が著しく低下する。したがって、母材のSi含有量は0.6 ~ 2.0%である。母材のSi含有量の好ましい下限は、0.8%である。母材のSi含有量の好ましい上限は、1.5%である。

[0029] Mn : 0.05 ~ 2.5 %

マンガン (Mn) は、鋼を脱酸する。Mnはまた、オーステナイト相を安定化させる。Mnはさらに、鋼の加工性及び溶接性を改善する。一方、Mnが過剰に含有されると、保護性酸化スケール層の浸炭性ガス遮断性能が阻害される。したがって、母材のMn含有量は、0.05 ~ 2.5%である。母材のMn含有量の好ましい下限は、0.1%である。母材のMn含有量の好ましい上限は、2.0%である。

[0030] P : 0.04 %以下

燐 (P) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。Pは、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。したがって、母材のP含有量は0.04%以下である。母材のP含有量は、可能な限り低減することが好ましい。母材のP含有量の好ましい上限は0.03%であり、より好ましい上限は0.025%である。

[0031] S : 0.015 %以下

硫黄 (S) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。Sは、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。特に、鋼のSi含有量やCu含有量が高いときに、その効果が重要になる。したがって、母材のS含有量は0.015%以下である。母材のS含有量は、可能な限り低減することが好ましい。母材のS含有量の好ましい上限は0.005%であり、より好まし

い上限は0.002%である。

[0032] Cr : 16.0%を超えて23.0%未満

クロム (Cr) は、 Cr_2O_3 等の保護性酸化スケール層を形成し、浸炭性ガスを遮断する。これによって、Crは、耐浸炭性、耐メタルダスティング性、及び耐コーキング性を鋼に付与する。一方、CrはCと結合し、炭化物を形成してクリープ延性を低下させる。また、Crはオーステナイト相のクリープ強度を低下させる。特に、Si及びCuの含有量が高い場合にはその影響が大きい。したがって、母材のCr含有量は、16.0%を超えて23.0%未満である。母材のCr含有量の好ましい下限は、18.0%である。母材のCr含有量は、上限の観点では、好ましくは20.0%未満である。

[0033] Ni : 20.0%以上30.0%未満

ニッケル (Ni) は、オーステナイト相を安定化させる。Niはまた、鋼中に侵入したCの侵入速度を低下させる。Niはさらに、鋼の高温強度を高める。一方、Niが過剰に含有されると、コストが増大する。また、Niが過剰に含有されると、コーキングやメタルダスティングが促進される場合がある。したがって、母材のNi含有量は20.0%以上30.0%未満である。母材のNi含有量の好ましい下限は、22.0%である。母材のNi含有量の好ましい上限は、28.0%である。

[0034] Cu : 0.5~10.0%

銅 (Cu) は、浸炭性ガスと金属との表面反応を抑制し、金属の耐メタルダスティング性を向上させる。Cuはまた、オーステナイト相を安定化させる。一方、Cuが過剰に含有されると、鋼の溶接性が低下する。したがって、母材のCu含有量は0.5~10.0%である。母材のCu含有量の好ましい下限は、1.5%である。母材のCu含有量の好ましい上限は、6.0%である。

[0035] Mo : 1%未満

モリブデン (Mo) は、不純物である。Moを1%以上含有すると、 σ 相

等の金属間化合物の生成を誘発し、組織安定性及び熱間加工性が低下する。したがって、母材のMo含有量は、1%未満である。一方、Moを極端に低減すると、コストが増大する。そのため、母材のMo含有量の好ましい下限は、0.05%である。

[0036] Al : 0.15%未満

アルミニウム (Al) は、鋼を脱酸する。一方、Alが過剰に含有されると、多量の窒化物が形成され、鋼の靱性が低下する。したがって、母材のAl含有量は、0.15%未満である。Al含有量は少ないほど良い。ただし、Alを極端に低減すると脱酸効果が十分に得られない。また、Alを極端に低減すると、鋼の清浄度が大きくなる。また、Alを極端に低減すると、コストが増大する。そのため、母材のAl含有量の好ましい下限は、0.003%である。

[0037] N : 0.005~0.20%

窒素 (N) は、鋼の高温強度を高める。Nはさらに、母材中のCの活量を高めて、母材の耐メタルダスティング性を向上させる。一方、Nが過剰に含有されると、鋼の熱間加工性が低下する。したがって、母材のN含有量は、0.005~0.20%である。母材のN含有量の好ましい下限は、0.010%である。母材のN含有量の好ましい上限は、0.15%である。

[0038] O : 0.02%以下

酸素 (O) は、不純物である。Oが過剰に含有されると、母材の製造時の熱間加工性が低下する。また、Oが過剰に含有されると、溶接金属の靱性及び延性が低下する。したがって、母材のO含有量は0.02%以下である。母材のO含有量の好ましい上限は、0.01%である。

[0039] 母材の化学組成の残部は、Fe及び不純物である。不純物は、鋼の原料として利用される鉱石やスクラップから混入する元素、又は、製造工程の種々の要因によって混入する元素を意味する。

[0040] 本実施形態による母材の化学組成は、上記のFeの一部に代えて、次に示す第1群及び第2群のうち少なくとも1つの群から選択される1種又は2種

を含有しても良い。

第1群： Ca：0.1%以下、REM：0.15%以下

第2群： V：0.5%未満、Nb：2%以下

[0041] 第1群（Ca：0.1%以下、REM：0.15%以下）

カルシウム（Ca）及び希土類元素（REM）は、任意元素である。すなわち、Ca及びREMは、母材に含有されていなくても良い。Ca及びREMは、いずれも鋼の熱間加工性を向上させる。そのため、Ca及びREMの1種又は2種を、必要に応じて母材に含有させても良い。母材にCa及び／REMの含有効果を得たい場合は、少なくとも一方を0.005%以上含有させるのが好ましい。

[0042] なお、「REM」とは、Sc、Y及びランタノイドの合計17元素の総称であり、REMの含有量はREMのうち1種又は2種以上の元素の合計含有量を指す。また、REMは一般的にミッシュメタルに含有される。このため例えば、ミッシュメタルの形で添加して、REMの含有量が上記の範囲となるように含有させてもよい。

[0043] 一方、Caが過剰に含有されると、鋼の溶接性が低下する。したがって、母材のCa含有量の上限は、0.15である。また、REMが過剰に含有されると、鋼の溶接性が低下する。したがって、母材のREM含有量の上限は、0.15%である。上記のCa及びREMは、いずれか1種のみを単独で、又は、2種を複合して含有させることができる。2種を複合して含有させる場合、合計の含有量の好ましい上限は、0.2%である。

[0044] 第2群（V：0.5%未満、Nb：2%以下）

バナジウム（V）及びニオブ（Nb）は、任意元素である。すなわち、V及びNbは、母材に含有されていなくても良い。V及びNbは、いずれも鋼の高温強度を向上させる。そのため、V及びNbの1種又は2種を、必要に応じて母材に含有させても良い。なお、Vの含有効果を得たい場合には0.002%以上、Nbの含有効果を得たい場合には0.005%以上含有させるのが好ましい。

[0045] 一方、Vが過剰に含有されると、鋼の溶接性が低下する。したがって、母材のV含有量は、上限の観点では0.5%未満である。また、Nbが過剰に含有されると、鋼の溶接性が低下する。したがって、母材のNb含有量の上限は、2%である。上記のV及びNbは、いずれか1種のみを単独で、又は、2種を複合して含有させることができる。2種を複合して含有させる場合、合計の含有量の好ましい上限は、2.2%である。

[0046] [溶接金属の初層の化学組成]

本実施形態による溶接継手の溶接金属は、Fe含有量が10～40%である化学組成を有する初層を含む。溶接金属では、凝固偏析が生じる。詳細なメカニズムは定かではないが、溶接金属中のFe含有量とNi含有量とのバランスが悪い領域において、凝固組織が影響してメタルダスティングが発生しやすくなる。溶接金属の初層は、母材希釈率の影響を受けやすく、Fe含有量とNi含有量とのバランスが悪くなりやすい。初層のFe含有量を10～40%にすることで、母材と同等の耐メタルダスティング性が得られる。

[0047] 溶接金属の初層（初層溶接金属）とは、JIS B 0190で規定される初層を指す。初層溶接金属とは、より具体的には、溶接時に第1パス目に溶接した際に作成される溶接金属のことを指す。溶接金属は、母材と溶接材料とが溶融、強固して形成される。溶接金属は、パス数を重ねるほど、母材の成分の影響（母材希釈）を受けなくなり、溶接材料の成分が支配的になる。そのため、母材の希釈の影響を受けやすい初層溶接金属についてのみ、成分範囲を管理し、性能を確保する必要がある。

[0048] 図1は、溶接継手の一例である溶接継手1の模式的断面図である。溶接継手1は、母材10と、溶接金属20とを備えている。この例では、溶接金属20は、初層溶接金属21と、2層目以降の層22とを含んでいる。

[0049] 溶接金属の初層は、好ましくは、以下の化学組成を有する。

[0050] C : 0.01～0.15%

炭素（C）は、溶接金属の強度を高める。一方、Cが過剰に含有されると、溶接金属の靱性が低下する。したがって、溶接金属の初層のC含有量は、

0.01～0.15%である。溶接金属の初層のC含有量の好ましい下限は、0.05%であり、より好ましくは0.03%である。溶接金属の初層のC含有量の好ましい上限は、0.12%であり、より好ましくは0.10%である。

[0051] Si : 0.01～4.0%

珪素 (Si) は、酸素との親和力が強く、 Cr_2O_3 等の保護性酸化スケール層の下層にSi系酸化スケールを形成し、浸炭性ガスを遮断する。一方、Siが過剰に含有されると、熱間加工性及び溶接性が著しく低下する。したがって、溶接金属の初層のSi含有量は、0.01～4.0%である。溶接金属の初層のSi含有量の好ましい下限は、0.08%であり、さらに好ましくは0.3%である。溶接金属の初層のSi含有量の好ましい上限は、3.5%であり、さらに好ましくは2.0%である。

[0052] Mn : 0.05～3.0%

マンガン (Mn) は、鋼を脱酸する。Mnはまた、オーステナイト相を安定化させる。Mnはさらに、鋼の加工性及び溶接性を改善する。一方、Mnが過剰に含有されると、保護性酸化スケール層の浸炭性ガス遮断性能を阻害する。したがって、溶接金属の初層のMn含有量は、0.05～3.0%である。溶接金属の初層のMn含有量の好ましい下限は、0.1%である。溶接金属の初層のMn含有量の好ましい上限は、2.5%である。

[0053] P : 0.03%以下

燐 (P) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。Pは、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。Pはさらに、溶接金属においては、溶接凝固割れ感受性を高める。したがって、溶接金属の初層のP含有量は0.03%以下である。溶接金属の初層のP含有量は、可能な限り低減することが好ましい。溶接金属の初層のP含有量の好ましい上限は0.025%である。

[0054] S : 0.015%以下

硫黄 (S) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。Sは

、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。したがって、溶接金属の初層のS含有量は0.015%以下である。溶接金属の初層のS含有量は、可能な限り低減することが好ましい。溶接金属の初層のS含有量の好ましい上限は0.005%であり、より好ましい上限は0.002%である。

[0055] Cr : 16.0%を超えて32.0%未満

クロム (Cr) は、高温の使用環境において、溶接継手中に侵入したCと結合して浸炭層の成長を遅らせ、耐メタルダスティング性を高める。一方、Crが過剰に含有されると、溶接金属の靱性が低下する。したがって、溶接金属の初層のCr含有量は、16.0%を超えて32.0%未満である。溶接金属の初層のCr含有量の好ましい下限は、18.0%である。溶接金属の初層のCr含有量は、上限の観点では、好ましくは23.0%未満であり、より好ましくは20.0%未満である。

[0056] Ni : 20.0%以上

ニッケル (Ni) は、高温強度及び組織安定性を高める。Niはさらに、Crと共存することで耐食性を高める。Niはまた、メタルダスティングの発生を抑制する。したがって、溶接金属の初層のNi含有量は20.0%以上である。溶接金属の初層のNi含有量の好ましい上限は、80%である。

[0057] Cu : 0.03~5.0%

銅 (Cu) は、浸炭性ガスと金属との表面反応を抑制し、金属の耐メタルダスティング性を向上させる。Cuはまた、オーステナイト相を安定化させる。一方、Cuが過剰に含有されると、溶接凝固割れ感受性が高まる。したがって、溶接金属の初層のCu含有量は0.03~5.0%である。溶接金属の初層のCu含有量の好ましい下限は、0.04%である。溶接金属の初層のCu含有量の好ましい上限は、4.5%である。

[0058] Al : 1.0%以下

アルミニウム (Al) は、鋼を脱酸する。一方、Alが過剰に含有されると、多量の窒化物が形成され、鋼の靱性が低下する。また、Alが過剰に含有されると、溶接施工性が悪化する。したがって、溶接金属の初層のAl含

有量は、1.0%以下である。Al含有量は少ないほど良い。ただし、Alを極端に低減すると脱酸効果が十分に得られない。また、Alを極端に低減すると、鋼の清浄度が大きくなる。また、Alを極端に低減するとコストが増大する。そのため、溶接金属の初層のAl含有量の好ましい下限は、0.003%である。

[0059] N : 0.005~0.20%

窒素(N)は、鋼の高温強度を高める。Nはさらに、溶接金属中のCの活量を高めて、溶接金属の耐メタルダスティング性を向上させる。一方、Nが過剰に含有されると、溶接金属の延性が低下する。したがって、溶接金属の初層のN含有量は、0.005~0.20%である。溶接金属の初層のN含有量の好ましい下限は、0.010%である。溶接金属の初層のN含有量の好ましい上限は、0.15%である。

[0060] O : 0.02%以下

酸素(O)は、不純物である。Oが過剰に含有されると、溶接金属の靱性及び延性が低下する。したがって、溶接金属の初層のO含有量は0.02%以下である。溶接金属の初層のO含有量の好ましい上限は、0.01%である。

[0061] Ti : 0~0.5%

チタン(Ti)は、任意元素である。すなわち、Tiは、溶接金属の初層に含有されていなくても良い。Tiは、Niと結合し、金属間化合物として微細に粒内析出し、高温でのクリープ強度を確保するのに有効な元素である。そのため、Tiを、必要に応じて含有させても良い。Tiを含有させる場合の好ましい下限は、0.005%である。しかしながら、Ti含有量が多くなって、特に0.5%を超えると、高温での使用中に金属間化合物相が急速に粗大化してクリープ強度及び靱性の極端な低下をきたし、溶接時には溶接金属の清浄性の低下を招いて溶接性を悪化させる。したがって、溶接金属の初層のTi含有量の上限は、0.5%である。

[0062] Mo : 0~8%

モリブデン (Mo) は、任意元素である。すなわち、Mo は、溶接金属の初層に含有されていなくても良い。Mo は、マトリックスに固溶して高温でのクリープ強度の向上に寄与する。そのため、Mo を、必要に応じて含有させても良い。Mo を含有させる場合の好ましい下限は、0.05% である。しかしながら、Mo 含有量が多くなって、特に8%を超えると、オーステナイトの安定性が低下してクリープ強度の低下を招く。したがって、溶接金属の初層のMo含有量の上限は、8%である。

[0063] Nb : 0~3%

ニオブ (Nb) は、任意元素である。すなわち、Nb は、溶接金属の初層に含有されていなくても良い。Nb は、マトリックスに固溶して、又は炭窒化物として析出して、高温でのクリープ強度の向上に寄与する。そのため、Nb を、必要に応じて含有させても良い。Nb を含有させる場合の好ましい下限は、0.05% である。しかしながら、Nb 含有量が多くなって、特に3%を超えると、炭窒化物が多量に析出し、鋼の延性が低下する。したがって、溶接金属の初層のNb含有量の上限は、3%である。

[0064] Co : 0~15%

コバルト (Co) は、任意元素である。すなわち、Co は、溶接金属の初層に含有されていなくても良い。Co は、オーステナイト相を安定化し、クリープ強度を高める。そのため、Co を、必要に応じて含有させても良い。溶接金属の初層にCoを含有させる場合の好ましい下限は、0.01% である。一方、Co が過剰に含有されると、コストが増大する。したがって、溶接金属の初層のCo含有量の上限は、15.0% である。溶接金属の初層のCo含有量の好ましい上限は、14.5% である。

[0065] 溶接金属の初層の化学組成の残部は、Fe 及び不純物である。ただし、溶接金属の初層は上述のように、Fe 含有量が10~40% である。

[0066] [溶接材料の化学組成]

本実施形態による溶接継手は、上述のように、Cr : 15.0~35.0%、及びNi : 40.0~70.0%を含む化学組成を有する溶接材料で溶

接されたものある。溶接材料は、母材の一部とともに、溶接金属を形成する。

[0067] Cr : 15.0 ~ 35.0 %

クロム (Cr) は、 Cr_2O_3 等の保護性酸化スケール層を形成し、浸炭性ガスを遮断する。これによって、Crは、耐浸炭性、耐メタルダスティング性、及び耐コーキング性を鋼に付与する。一方、CrはCと結合し、炭化物を形成してクリープ強度を低下させる。特に、Si及びCuの含有量が高い場合にはその影響が大きい。溶接材料のCr含有量は、15.0 % ~ 35.0 %である。溶接材料のCr含有量の好ましい下限は、16.0 %である。溶接材料のCr含有量の好ましい上限は、33.0 %であり、より好ましくは30.0 %であり、さらに好ましくは28.0 %である。

[0068] Ni : 40.0 ~ 70.0 %

ニッケル (Ni) は、オーステナイト相を安定化させる。Niはまた、鋼中に侵入したCの侵入速度を低下させる。Niはさらに、鋼の高温強度を高める。溶接材料においてこれらの効果を発揮するためには、Niを40 %以上含有させる必要がある。一方、Niを過剰に含有してもその効果は飽和する。したがって、溶接材料のNi含有量は40.0 ~ 70.0 %である。溶接材料のNi含有量の好ましい下限は、45.0 %である。

[0069] 溶接材料は、好ましくは、Cr及びNiに加えて、以下の化学組成を有する。

[0070] C : 0.01 ~ 0.15 %

炭素 (C) は、溶接金属の強度を高める。一方、Cが過剰に含有されると、溶接凝固割れ感受性が高まる。したがって、溶接材料のC含有量は、0.01 ~ 0.15 %である。溶接材料のC含有量の好ましい下限は、0.03 %であり、さらに好ましくは0.05 %である。溶接材料のC含有量の好ましい上限は、0.12 %であり、さらに好ましくは0.10 %である。

[0071] Si : 4.0 %以下

珪素 (Si) は、熱間加工性及び溶接性を低下させる。したがって、溶接

材料のS i 含有量は、4.0%以下である。溶接材料のS i 含有量の好ましい上限は、3.5%であり、より好ましくは2.0%であり、さらに好ましくは1.5%である。溶接継手において高い耐食性が必要な場合、溶接材料のS i 含有量の下限は、0.5%とすることが好ましい。

[0072] Mn : 0.01 ~ 3.5%

マンガン (Mn) は、鋼を脱酸する。Mn はまた、オーステナイト相を安定化させる。Mn はさらに、鋼の加工性及び溶接性を改善する。一方、Mn が過剰に含有されると、溶接材料製造時の熱間加工性が悪くなる。したがって、溶接材料のMn 含有量は、0.05 ~ 3.5%である。溶接材料のMn 含有量の好ましい下限は、0.05%であり、さらに好ましくは0.10%である。溶接材料のMn 含有量の好ましい上限は、3.0%である。

[0073] P : 0.03%以下

燐 (P) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。P は、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。P はさらに、溶接金属の溶接凝固割れ感受性を高める。したがって、溶接材料のP 含有量は0.03%以下である。溶接材料のP 含有量は、可能な限り低減することが好ましい。溶接材料のP 含有量の好ましい上限は0.025である。

[0074] S : 0.015%以下

硫黄 (S) は、鋼を溶製する際に原料等から混入する不純物である。S は、鋼の熱間加工性及び溶接性を低下させる。したがって、溶接材料のS 含有量は0.015%以下である。溶接材料のS 含有量は、可能な限り低減することが好ましい。溶接材料のS 含有量の好ましい上限は0.005%であり、より好ましい上限は0.002%である。

[0075] Cu : 0.01 ~ 4.0%

銅 (Cu) は、浸炭性ガスと金属との表面反応を抑制し、金属の耐メタルガスティング性を向上させる。Cu はまた、オーステナイト相を安定化させる。一方、Cu が過剰に含有されると、溶接凝固割れ感受性が高まる。したがって、溶接材料のCu 含有量は0.01 ~ 4.0%である。溶接材料のC

u含有量の好ましい下限は、0.03%である。溶接材料のCu含有量の好ましい上限は、3.5%である。

[0076] Al : 0~1.5%

アルミニウム (Al) は、任意元素である。すなわち、Alは、溶接材料に含有されていなくても良い。Alは、鋼を脱酸する。一方、Alが過剰に含有されると、多量の窒化物が形成され、鋼の靱性が低下する。また、Alが過剰に含有されると、溶接施工性が悪化する。したがって、溶接材料のAl含有量は、1.5%以下であり、好ましくは1.0%以下である。ただし、Alを極端に低減すると脱酸効果が十分に得られない。また、Alを極端に低減すると、鋼の清浄度が大きくなる。また、Alを極端に低減するとコストが増大する。そのため、溶接材料のAl含有量の好ましい下限は、0.003%である。溶接継手において、高い高温強度が必要な場合、溶接材料のAl含有量の下限は0.15%とすることが好ましい。

[0077] N : 0.005~0.1%

窒素 (N) は、鋼の高温強度を高める。Nはさらに、溶接材料中のCの活量を高めて、溶接材料の耐メタルダスティング性を向上させる。一方、Nが過剰に含有されると、溶接材料の製造時の熱間加工性が低下する。したがって、溶接材料のN含有量は、0.005~0.1%である。溶接材料のN含有量の好ましい下限は、0.010%である。溶接材料のN含有量の好ましい上限は、0.05%である。

[0078] O : 0.03%以下

酸素 (O) は、不純物である。Oが過剰に含有されると、溶接材料の製造時の熱間加工性が低下する。また、溶接金属の靱性及び延性も低下する。したがって、溶接材料のO含有量は0.03%以下である。溶接材料のO含有量の好ましい上限は、0.02%である。

[0079] Ti : 0~1.0%

チタン (Ti) は、任意元素である。すなわち、Tiは、溶接材料に含有されていなくても良い。Tiは、Niと結合し、金属間化合物として微細に

粒内析出し、高温でのクリープ強度を確保するのに有効な元素である。そのため、Tiを、必要に応じて含有させても良い。Tiを含有させる場合の好ましい下限は、0.15%である。しかしながら、Ti含有量が多くなって、特に1.0%を超えると、高温での使用中に金属間化合物相が急速に粗大化してクリープ強度及び靱性の極端な低下をきたし、合金の製造時には清浄性の低下を招いて製造性を悪化させる。したがって、溶接材料のTi含有量の上限は、1.0%である。

[0080] Mo : 0 ~ 15 %

モリブデン (Mo) は、任意元素である。すなわち、Moは、溶接材料に含有されていなくても良い。Moは、マトリックスに固溶して高温でのクリープ強度の向上に寄与する。そのため、Moを、必要に応じて含有させても良い。Moを含有させる場合の好ましい下限は、0.01%であり、さらに好ましくは7%である。しかしながら、Mo含有量が多くなって、特に15%を超えると、オーステナイトの安定性が低下してクリープ強度の低下を招く。したがって、溶接材料のMo含有量の上限は、15%である。

[0081] Nb : 0 ~ 5 %

ニオブ (Nb) は、任意元素である。すなわち、Nbは、溶接材料に含有されていなくても良い。Nbは、マトリックスに固溶して、又は炭窒化物として析出して、高温でのクリープ強度の向上に寄与する。そのため、Nbを、必要に応じて含有させても良い。Nbを含有させる場合の好ましい下限は、0.005%である。しかしながら、Nb含有量が多くなって、特に5%を超えると、炭窒化物が多量に析出し、鋼の延性が低下する。したがって、溶接材料のNb含有量の上限は、5%である。

[0082] Co : 0 ~ 15 %

コバルト (Co) は、任意元素である。すなわち、Coは、溶接材料に含有されていなくても良い。Coは、オーステナイト相を安定化し、クリープ強度を高める。そのため、Coを、必要に応じて含有させても良い。溶接材料にCoを含有させる場合の好ましい下限は、0.01%である。一方、C

○が過剰に含有されると、コストが増大する。したがって、溶接材料のC○含有量の上限は、15.0%である。溶接材料のC○含有量の好ましい上限は、14.5%である。

[0083] なお、高温強度を特に確保したい場合、溶接材料の化学組成が、Al : 0.15~1.5%、Ti : 0.15~1.0%、及びMo : 7~15%を含み、さらに、Nb : 0.1~5%、及びCo : 0.1~15%の少なくとも一方を含むことが好ましい。

[0084] また、耐食性を特に確保したい場合、溶接材料の化学組成が、Si : 0.5~4.0%を含むことが好ましい。

[0085] [製造方法]

まず、母材の製造方法の一例を説明する。上述した母材の化学組成を有する鋼を溶製する。溶製は、電気炉で行っても良いし、Ar-O₂混合ガス底吹き脱炭炉（AOD炉）で行っても良いし、真空脱炭炉（VOD炉）で行っても良い。溶製された鋼を、造塊法によってインゴットにする。あるいは、溶製された鋼を、連続鋳造法によって鋳片にする。

[0086] インゴット又は鋳片を用いて母材を製造する。母材は例えば、鋼板又は鋼管である。鋼板は例えば、インゴット又は鋳片に、熱間鍛造、又は熱間圧延等の熱間加工を実施して製造される。鋼管は例えば、インゴット又は鋳片を熱間加工によって丸ビレットを形成し、丸ビレットに穿孔圧延、熱間押出、又は熱間鍛造等の熱間加工を実施して製造される。鋼管はあるいは、鋼板を曲げ加工してオープンパイプを形成し、オープンパイプの長手方向の両端面を溶接して製造される。

[0087] 母材に対して、必要に応じて周知の熱処理を実施する。

[0088] 次に、溶接材料の製造方法の一例を説明する。上述した溶接材料の化学組成を有する鋼を溶製する。溶製された鋼を鋳造してインゴットにする。インゴットを熱間加工して溶接材料を製造する。溶接材料は棒状であっても良いし、ブロック状であっても良い。

[0089] 溶接材料に対しても、必要に応じて周知の熱処理を実施する。

[0090] 上記の溶接材料を用いて上記の母材を溶接する。これによって、溶接継手
が得られる。溶接方法は例えば、TIG溶接、MIG溶接、MAG溶接、及
びサブマージ溶接である。溶接時に、母材の一部と溶接材料とが熔融及び凝
固して溶接金属が形成される。

[0091] このとき、溶接金属の初層のFe含有量が、10～40%になるように、
母材希釈率を調整する。より具体的には、母材の化学組成及び溶接材料の化
学組成に応じて、初層溶接時の入熱及び溶接材料供給速度を調整する。初層
溶接時の入熱を大きくすれば、母材希釈率が大きくなり、溶接金属の初層の
Fe含有量が大きくなる。また、溶接材料供給速度を速くすれば、母材希釈
率が小さくなり、溶接金属の初層のFe含有量が小さくなる。

実施例

[0092] 以下、実施例によって本発明をより具体的に説明する。本発明は、これら
の実施例に限定されない。

[0093] 表1に示す化学組成を有する符号A及び符号Bの鋼を実験室溶解してイン
ゴットを作製した。作製したインゴットに、熱間鍛造、冷間圧延、熱処理及
び機械加工を実施して、外径25.4mm、板厚3.3mm、長さ60mm
の鋼管（母材）を作製した。

[0094]

[表1]

TABLE1

母材	化学組成(質量%、残部Feおよび不純物)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	O	その他
A	0.070	0.96	0.82	0.022	0.001	19.93	25.10	3.01	0.03	0.0026	Mo<1
B	0.051	0.68	1.15	0.018	0.001	21.10	26.30	0.72	0.11	0.0100	V:0.003、Ca:0.007、REM:0.04、Nb:0.5

[0095] 表2に示す化学組成を有する符号T～Zの鋼を実験室溶解してインゴットを作製した。インゴットに、熱間鍛造、熱間圧延、熱処理及び機械加工を実施して、外径1.2mmの溶接ワイヤ（溶接材料）を作製した。

[0096] [表2]

溶接材料	化学組成(質量%、残部Feおよび不純物)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N	O	その他
T	0.07	0.20	0.07	0.003	0.007	22.00	54.60	0.07	0.006	0.01	Al:0.98、Ti:0.4、Mo:9.1、Co:12.5
U	0.01	0.02	0.01	0.003	0.001	22.07	65.79	0.01	0.007	0.01	Al:0.2、Ti:0.28、Mo:8.3、Nb:3.2
V	0.03	0.12	3.05	0.006	0.004	16.20	69.80	0.03	0.006	0.02	—
W	0.07	0.20	0.07	0.003	0.007	20.10	60.10	0.07	0.009	0.01	Al:0.82、Co:10.5
X	0.10	1.46	0.21	0.001	0.001	29.90	65.82	2.10	0.007	<0.01	Al:0.036
Y	0.10	0.08	3.50	0.002	0.002	22.50	40.00	2.50	0.006	<0.01	—
Z*	0.10	0.60	0.08	0.002	0.002	15.60	35.00*	2.10	0.008	0.01	—

*印は本発明の範囲から外れていることを示す。

[0097] 上記の鋼管の周方向に、開先加工を実施した後、母材及び溶接材料を表3
に示す組み合わせ及び条件で溶接して溶接継手を作製した。

[0098] [表3]

試験 記号	母材	溶接 材料	初層 入熱 (kJ/cm)	溶接材料 送給速度 (mm/min)	溶接 金属 No.	化学組成(質量%)																溶接金属 の 耐MD性
						C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	O	N	Co	Ti	Mo	Nb	Fe	
J1	A	T	7.5	490	T1	0.07	0.58	0.45	0.013	0.0040	20.97	39.85	1.54	0.505	0.008	0.053	6.25	0.20	4.55	-	25.0	○
J2				640	T2	0.07	0.51	0.38	0.011	0.0045	21.15	42.51	1.28	0.591	0.008	0.045	7.38	0.24	5.37	-	26.1	
J3			6	770	T3	0.07	0.47	0.33	0.010	0.0049	21.28	44.28	1.10	0.648	0.007	0.040	8.13	0.26	5.92	-	23.7	○
J4					T4	0.07	0.41	0.28	0.008	0.0053	21.42	46.34	0.89	0.714	0.007	0.034	9.00	0.29	6.55	-	20.8	
J5	B		7.5	490	T5	0.06	0.44	0.61	0.011	0.0040	21.55	40.45	0.40	0.545	0.008	0.011	6.25	0.20	4.55	0.25	24.6	○
J6				640	T6	0.06	0.40	0.51	0.009	0.0045	21.63	43.00	0.34	0.623	0.008	0.011	7.38	0.24	5.37	0.21	25.8	
J7			7.5	770	T7	0.06	0.37	0.45	0.008	0.0049	21.69	44.70	0.30	0.676	0.007	0.011	8.13	0.26	5.92	0.18	23.4	○
J8				490	U1	0.04	0.49	0.42	0.013	0.0010	21.00	41.13	1.51	0.115	0.009	0.053	-	0.14	4.12	1.69	27.6	
J9	A	U	7.5	640	U2	0.03	0.41	0.34	0.011	0.0010	21.19	51.09	1.24	0.130	0.008	0.045	-	0.17	4.86	1.99	23.5	○
J10					U3	0.03	0.35	0.29	0.010	0.0010	21.32	53.74	1.06	0.141	0.008	0.040	-	0.18	5.36	2.19	20.8	
J11			6	770	U4	0.03	0.28	0.24	0.008	0.0010	21.47	56.82	0.85	0.152	0.008	0.034	-	0.20	5.93	2.43	17.7	○
J12					U5	0.02	0.21	0.17	0.007	0.0010	21.64	60.34	0.61	0.166	0.008	0.027	-	0.22	6.59	2.70	14.1	
J13	B		7.5	490	U6	0.03	0.35	0.58	0.011	0.0010	21.59	47.73	0.37	0.155	0.009	0.011	-	0.14	4.12	1.94	27.2	○
J14				640	U7	0.03	0.29	0.48	0.009	0.0010	21.67	51.59	0.30	0.163	0.008	0.011	-	0.17	4.86	2.19	23.3	
J15			7.5	770	U8	0.02	0.25	0.41	0.008	0.0010	21.73	54.16	0.26	0.169	0.008	0.011	-	0.18	5.36	2.37	20.6	○
J16				490	V1	0.05	0.54	1.94	0.014	0.0025	18.07	47.45	1.52	0.015	0.015	0.051	-	-	-	-	30.4	
J17	A	V	7.5	640	V2	0.05	0.46	2.14	0.013	0.0028	17.73	51.47	1.25	0.012	0.016	0.042	-	-	-	-	26.8	○
J18					V3	0.04	0.41	2.27	0.012	0.0030	17.51	54.16	1.07	0.011	0.017	0.037	-	-	-	-	24.5	
J19			6	770	V4	0.04	0.36	2.43	0.010	0.0032	17.24	57.28	0.86	0.008	0.017	0.031	-	-	-	-	21.7	○
J20					V5	0.04	0.29	2.60	0.009	0.0034	16.95	60.86	0.63	0.006	0.018	0.024	-	-	-	-	18.6	
J21	B		7.5	490	V6	0.04	0.40	2.10	0.012	0.0025	18.65	48.05	0.38	0.055	0.015	0.009	-	-	-	-	30.0	○
J22				640	V7	0.04	0.35	2.27	0.011	0.0028	18.21	51.97	0.31	0.045	0.016	0.009	-	-	-	-	26.6	
J23			7.5	770	V8	0.04	0.32	2.39	0.010	0.0030	17.92	54.58	0.27	0.039	0.017	0.009	-	-	-	-	24.2	○
J24					W1	0.07	0.43	0.30	0.009	0.0051	20.05	49.60	0.95	0.583	<0.01	0.035	7.35	-	-	-	20.6	
J25	A	W	6		W2	0.07	0.39	0.26	0.008	0.0055	20.06	51.35	0.81	0.623	<0.01	0.031	7.88	-	-	-	18.5	○
J26					W3	0.07	0.35	0.22	0.007	0.0058	20.07	53.10	0.66	0.662	<0.01	0.026	8.40	-	-	-	16.4	
J27			7.5	770	W4	0.06	0.34	0.39	0.008	0.0052	20.40	49.96	0.27	0.607	0.01	0.010	7.35	-	-	-	20.4	○
J28					W5	0.07	0.32	0.34	0.007	0.0055	20.35	51.65	0.23	0.643	0.01	0.010	7.88	-	-	-	18.4	
J29	A	X	7.5	490	X1	0.09	1.38	1.68	0.011	0.0009	21.80	46.72	3.57	0.033	<0.01	0.050	-	-	-	-	24.7	○
J30				640	X2	0.09	1.48	1.90	0.009	0.0009	22.28	52.24	3.71	0.034	<0.01	0.039	-	-	-	-	18.2	
J31			6	770	X3	0.09	1.51	1.95	0.008	0.0008	22.39	53.51	3.74	0.034	<0.01	0.036	-	-	-	-	16.7	○
J32					X4	0.09	1.58	2.08	0.006	0.0010	22.68	56.90	3.83	0.035	<0.01	0.029	-	-	-	-	12.8	
J33	A	Y	7.5		X5	0.09	1.64	2.21	0.005	0.0010	22.98	60.29	3.91	0.035	<0.01	0.022	-	-	-	-	8.8*	x
J34					Y1	0.09	0.47	2.32	0.011	0.0015	21.37	33.44	2.72	0.013	<0.01	0.045	-	-	-	-	39.5	
J35			6	490	Y2	0.09	0.40	2.54	0.009	0.0016	21.57	34.64	2.68	0.011	<0.01	0.038	-	-	-	-	38.0	○
J36					Y3	0.08	0.38	2.33	0.010	0.0015	21.80	33.15	1.61	0.055	<0.01	0.009	-	-	-	-	40.3*	
J37	B		7.5	640	Y4	0.08	0.36	2.42	0.009	0.0015	21.86	33.70	1.68	0.051	<0.01	0.009	-	-	-	-	39.6	○
J38					Y5	0.08	0.34	2.47	0.009	0.0016	21.88	33.97	1.72	0.048	<0.01	0.009	-	-	-	-	39.2	
J39			7.5	770	Z1	0.09	0.73	0.34	0.009	0.0016	17.12	31.54	2.42	0.011	<0.01	0.038	-	-	-	-	47.7*	x
J40					Z2	0.09	0.70	0.29	0.008	0.0017	16.81	32.23	2.35	0.008	<0.01	0.032	-	-	-	-	47.5*	
J41	A	Z*	6	770	Z3	0.09	0.67	0.23	0.006	0.0018	16.47	33.02	2.28	0.006	<0.01	0.025	-	-	-	-	47.2*	x

*印は本発明の範囲から外れていることを示す。

- [0099] 表3に示すように、初層の溶接入熱（初層入熱）を $4 \sim 8 \text{ kJ/cm}$ の範囲で、溶接材料供給速度を $490 \sim 770 \text{ mm/min}$ の範囲で変化させることによって、母材希釈率を変化させた。その後、積層時は $8 \sim 15 \text{ kJ/cm}$ の範囲で溶接し、溶接継手を作製した。
- [0100] まず、初層のみを溶接した継手において、溶接金属の初層の化学組成を分析した。
- [0101] 次に、各溶接継手の耐溶接凝固割れ性を評価した。具体的には、作製した溶接継手の各々の溶接ビードに対して浸透探傷試験を実施し、ビード表面に生じる欠陥（溶接凝固割れ）を検出した。欠陥が検出されない場合、本発明の性能を満足すると判断した。
- [0102] さらに、各溶接継手の耐メタルダスティング性を評価した。具体的には、作製した溶接継手の各々から、溶接金属を中央にして、板厚 3.3 mm 、幅 20 mm 、長さ 30 mm の試験片を切出した。この試験片を、体積比で $45\% \text{ CO} - 42.5\% \text{ H}_2 - 6.5\% \text{ CO}_2 - 6\% \text{ H}_2\text{O}$ ガス雰囲気中、 650°C で 500 時間等温保持した。その後、試験片表面に発生するピットの有無を、目視及び光学顕微鏡によって判断した。ピット発生がない場合、本発明の性能を満足すると判断した。
- [0103] 結果を表3に示す。表3の「化学組成」の欄には、各溶接継手の溶接金属の初層の化学組成が記載されている。表3の「溶接金属の耐MD性」の欄には、耐メタルダスティング性の評価結果が記載されている。「○」は、同評価においてピットが発生しなかったことを示す。「×」は、同評価においてピットが発生したことを示す。なお、作製したすべての溶接継手において、溶接凝固割れは検出されなかった。
- [0104] 試験記号J1～J32、J34、J35、J37、及びJ38の溶接継手は、本発明の範囲内であった。具体的には、母材の化学組成が本発明の範囲内であり、溶接材料がCr： $15.0 \sim 30.0\%$ 、及びNi： $40.0 \sim 70.0\%$ を含み、溶接金属の初層のFe含有量が $10 \sim 40\%$ であった。これらの溶接継手は、耐溶接凝固割れ性と、優れた耐メタルダスティング性

とを同時に備えていた。

[0105] 試験記号 J 3 3 の溶接継手は、耐メタルダスティング性の評価において、メタルダスティングが発生した。試験番号 J 1 8 の溶接継手は、母材の化学組成が本発明の範囲内であり、溶接材料が C r : 1 5 . 0 ~ 3 0 . 0 %、及び N i : 4 0 . 0 ~ 7 0 . 0 % を含んでいた。しかし、試験番号 J 3 3 の溶接継手は、溶接金属の初層の F e 含有量が少なかった。そのため、凝固組織である溶接金属において十分な浸炭抑制効果が得られなかったと考えられる。

[0106] 試験記号 J 3 6 の溶接継手は、耐メタルダスティング性の評価において、メタルダスティングが発生した。試験番号 J 3 6 の溶接継手は、母材の化学組成が本発明の範囲内であり、溶接材料が C r : 1 5 . 0 ~ 3 0 . 0 %、及び N i : 4 0 . 0 ~ 7 0 . 0 % を含んでいた。しかし、試験番号 J 2 1 の溶接継手は、溶接金属の初層の F e 含有量が多かった。そのため、凝固組織である溶接金属において十分な浸炭抑制効果が得られなかったと考えられる。

[0107] 試験記号 J 3 9 ~ 4 1 の溶接継手は、耐メタルダスティング性の評価において、メタルダスティングが発生した。試験記号 J 3 9 ~ 4 1 の溶接継手は、溶接材料の N i 含有量が少なかった。その結果、溶接金属中の F e 含有量の比率が大きくなり、初層の F e 含有量も多かった。そのため、凝固組織である溶接金属において十分な浸炭抑制効果が得られなかったと考えられる。

産業上の利用可能性

[0108] 本発明は、高温の腐食環境で使用する部材の溶接継手として好適に使用できる。本発明は例えば、石油・ガス精製や石油化学プラント等における熱交換型炭化水素改質装置、廃熱回収装置等に使用される容器、反応管、部品等の溶接継手として好適に使用できる。

請求の範囲

[請求項1] 質量%で、Cr：15.0～35.0%、及びNi：40.0～70.0%を含む化学組成を有する溶接材料を用いて溶接された溶接継手であって、

化学組成が、質量%で、

C：0.03～0.075%、

Si：0.6～2.0%、

Mn：0.05～2.5%、

P：0.04%以下、

S：0.015%以下、

Cr：16.0%を超えて23.0%未満、

Ni：20.0%以上30.0%未満、

Cu：0.5～10.0%、

Mo：1%未満、

Al：0.15%以下、

N：0.005～0.20%、

O：0.02%以下、

Ca：0～0.1%、

REM：0～0.15%、

V：0%以上0.5%未満、

Nb：0～2%、

残部：Fe及び不純物である母材と、

質量%で、Fe含有量が10～40%である化学組成を有する初層溶接金属とを備える、溶接継手。

[請求項2] 請求項1に記載の溶接継手であって、

前記母材の化学組成が、質量%で、

Ca：0.005～0.1%、及び

REM：0.005～0.15%、

からなる群から選択された1種又は2種を含有する、溶接継手。

[請求項3]

請求項1又は2に記載の溶接継手であって、

前記母材の化学組成が、質量%で、

V : 0.002%以上0.5%未満、及び

Nb : 0.005~0.15%、

からなる群から選択された1種又は2種を含有する、溶接継手。

[請求項4]

請求項1~3のいずれか一項に記載の溶接継手であって、

前記初層溶接金属の化学組成が、質量%で、

C : 0.01~0.15%、

Si : 0.01~4.0%、

Mn : 0.05~3.0%、

P : 0.03%以下、

S : 0.015%以下、

Cr : 16.0%を超えて32.0%未満、

Ni : 20.0%以上、

Cu : 0.03~5.0%、

Al : 1.0%以下、

N : 0.005~0.2%、

O : 0.02%以下、

Ti : 0~0.5%、

Mo : 0~8%、

Nb : 0~3%、

Co : 0~15%、

Fe : 10~40%、

残部：不純物である、溶接継手。

[請求項5]

請求項1~4のいずれか一項に記載の溶接継手であって、

前記溶接材料の化学組成が、質量%で、

C : 0.01~0.15%、

Si : 4.0%以下、
Mn : 0.01~3.5%、
P : 0.03%以下、
S : 0.015%以下、
Cr : 15.0~35.0%、
Ni : 40.0~70.0%、
Cu : 0.01~4.0%、
Al : 0~1.5%、
N : 0.005~0.1%、
O : 0.03%以下、
Ti : 0~1.0%、
Mo : 0~15%、
Nb : 0~5%、
Co : 0~15%、
残部 : Fe 及び不純物である、溶接継手。

[請求項6]

請求項5に記載の溶接継手であって、
前記溶接材料の化学組成が、質量%で、
Al : 0.15~1.5%、
Ti : 0.15~1.0%、及び
Mo : 7~15%、
を含み、さらに、
Nb : 0.1~5%、及びCo : 0.1~15%の少なくとも一方
を含む、溶接継手。

[請求項7]

請求項5に記載の溶接継手であって、
前記溶接材料の化学組成が、質量%で、
Si : 0.5~4.0%、
を含む、溶接継手。