

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-193404

(P2012-193404A)

(43) 公開日 平成24年10月11日(2012.10.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 O 1 A	4 K O 4 2
C 2 2 C 38/54 (2006.01)	C 2 2 C 38/54	
C 2 1 D 9/08 (2006.01)	C 2 1 D 9/08 E	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2011-57520 (P2011-57520)	(71) 出願人	000002118
(22) 出願日	平成23年3月16日 (2011. 3. 16)		住友金属工業株式会社
			大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
		(74) 代理人	100093469
			弁理士 杉岡 幹二
		(74) 代理人	100134980
			弁理士 千原 清誠
		(72) 発明者	内田 陽介
			大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
			住友金属工業株式会社内
		(72) 発明者	荒井 勇次
			大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
			住友金属工業株式会社内
		Fターム(参考)	4K042 AA06 BA01 CA02 CA03 CA05
			CA06 CA08 CA09 CA10 CA12
			CA13 DA01 DA02 DC02 DC05

(54) 【発明の名称】 継目無鋼管およびその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】クレーンのブーム等の機械構造部材に特に好適な、高強度と高靱性を有する肉厚が30mmを超える厚肉継目無鋼管を提供する。

【解決手段】質量%で、C:0.10~0.20%、Si:0.05~1.0%、Mn:0.05~1.2%、Cr:0.50~1.50%、Mo:0.50~1.50%、Nb:0.002~0.10%、Al:0.005~0.10%、並びにTi:0.003~0.050%およびV:0.01~0.20%の1種または2種を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のNiが0.10%未満、Cuが0.20%以下、Pが0.025%以下、Sが0.005%以下、Nが0.007%以下、Bが0.0003%未満である低合金鋼からなり、引張強度950MPa以上、降伏強度850MPa以上であって、-40度のシャルピー吸収エネルギーが60J以上であり、肉厚が30mm超である継目無鋼管およびその製造方法。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、C：0.10～0.20%、Si：0.05～1.0%、Mn：0.05～1.2%、Cr：0.50～1.50%、Mo：0.50～1.50%、Nb：0.002～0.10%、Al：0.005～0.10%、並びにTi：0.003～0.050%およびV：0.01～0.20%の1種または2種を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のNiが0.10%未満、Cuが0.20%以下、Pが0.025%以下、Sが0.005%以下、Nが0.007%以下およびBが0.0003%未満である低合金鋼からなり、引張強度950MPa以上、かつ降伏強度850MPa以上であって、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上であり、肉厚が30mm超であることを特徴とする継目無鋼管。

10

【請求項 2】

Feの一部に代えて、さらにCa：0.0005～0.0050%およびMg：0.0005～0.0050%のうち的一方または両方を含有する請求項1に記載の継目無鋼管。

【請求項 3】

請求項1または2に記載の化学成分を有する低合金鋼を熱間製管して、肉厚30mm超の寸法形状に形成した後、焼入れ、焼戻しを2回以上行い、引張強度を950MPa以上、降伏強度を850MPa以上、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーを60J以上とすることを特徴とする継目無鋼管の製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、厚肉の継目無鋼管およびその製造方法に関する。特に機械構造部材用、とりわけクレーンブーム用の継目無鋼管として、好適な継目無鋼管とその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

機械構造部材のうち、円筒形のものは従来、棒鋼に鍛造又は延伸圧延を施して、あるいはさらに切削加工を施して所望の形状とした後に、熱処理が施され、機械構造部材に必要な機械的性質が付与されることが多い。近年、構造物の大型化および高耐力化の傾向をうけて、円筒形の構造部材を中空の継目無鋼管に置き換えることで軽量化が計られてきた。特に、クレーンのブーム材等、円筒形の構造部材としての鋼管は、クレーンの大型化、高層建築や寒冷地での作業等に鑑みて、高強度化とともに高靱性化が求められてきた。最近では、ブーム用途として、950MPa以上の引張強さを有し、かつ-40℃という低温で優れた靱性を有することが継目無鋼管に要求されるようになってきた。このような用途に関しては、5～50mm程度の肉厚、特に8～45mm程度の肉厚の鋼管が要求される場合が多い。

30

【0003】

高強度かつ高靱性の鋼管に関しては、従来より、種々の技術が提案されている。

【0004】

例えば、特許文献1では、所定の範囲に規定してなるC、Si、Mn、P、S、Ni、Cr、Mo、Ti、AlおよびN、並びにNbまたはVのうちの1種以上を含み、さらにBを0.0005～0.0025%含有させた低合金鋼を製管後熱処理することによって、低温靱性に優れた高張力継目無鋼管の製造方法が提案されている。

40

【0005】

特許文献2では、所定の範囲に規定してなるC、Si、Mn、P、S、Al、NbおよびN、あるいはさらにCr、Mo、Ni、V、REM、Ca、Co、Cuを選択的に含有させた上で、Bを0.0005～0.0030%含有させ、かつTiを $-0.005\% < (Ti - 3.4N) < 0.01\%$ の範囲内で含有させた鋼であって、焼戻しによって析出する析出物の大きさが0.5μm以下である高強度高靱性継目無鋼管が提案されている。

50

【 0 0 0 6 】

また、特許文献 3 では、C、Si、Mn、P、S、Al、Cr、Mo、V、Cu、N、W を所定の範囲に含有させた低合金鋼を用いて、造管後に焼入れ焼戻しによって高強度継目無鋼管を得る技術が提案されている。

【 0 0 0 7 】

さらに、特許文献 4 では、所定の範囲の C、Mn、Ti、Nb を含有させ、Si、Al、P、S、N を所定の範囲以下に制限し、さらに Ni、Cr、Cu、Mo の 1 種または 2 種以上を選択的に含有させた上で、B を 0.0003 ~ 0.003 % 含有する鋼を用い、造管後に加速冷却と空冷を施して、金属組織を自己焼戻しマルテンサイト単独組織または自己焼戻しマルテンサイトと下部ベイナイトとの混合組織とする靱性と溶接性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管が提案されている。

10

【 0 0 0 8 】

しかしながら、上記特許文献 1 ~ 3 で提案された技術によれば、優れた低温靱性を有する継目無鋼管が得られるものの、いずれも引張強度が 90 kgf/mm² 程度までのものを対象としており、さらに高強度の鋼管を得ようとすると低温靱性が低下する可能性を否定することができない。

【 0 0 0 9 】

また、上記特許文献 4 によれば、その実施例にあるとおり、引張強度で 1000 MPa を越え、かつ -40 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 200 J 以上の高靱性を有するシームレス鋼管が得られるものの、加速冷却ままで用いられる鋼管であるため、降伏応力が 850 MPa 以下と低くなる問題がある。

20

【 0 0 1 0 】

このような背景において、本発明者のうちの一人は、クレーンのブーム等の機械構造部材に特に好適な、引張強度 950 MPa 以上および降伏強度 850 MPa 以上の高強度を有し、かつ、-40 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 60 J 以上の高靱性を有する継目無鋼管とその製造方法を先に特許出願した。（特許文献 5）

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 1 】

【 特許文献 1 】 特開昭 61 - 238917

30

【 特許文献 2 】 特開平 7 - 331381

【 特許文献 3 】 米国特許出願公開第 2002 / 0150497 号明細書

【 特許文献 4 】 特開 2007 - 262468

【 特許文献 5 】 国際特許出願公開 WO 2010 / 061882 A1

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 2 】

前述のように、クレーンブーム等の用途においては、5 mm ~ 50 mm 程度の肉厚、特に 8 ~ 45 mm の肉厚の鋼管が要求されている。しかしながら、厚肉化に伴い、焼入時の肉厚中央部近辺の冷却速度の確保が困難になって、強度あるいは靱性を確保することが非常に困難であった。特に外径が大きい場合、具体的には外径が 185 mm 以上の場合は、強度および靱性の確保がさらに困難となる傾向がある。これは、外径が大きい場合、鋼管全体の熱容量が大きいことの影響を受けることが理由とも考えられる。

40

【 0 0 1 3 】

本発明者のうちの一人は、このような厚肉の大きい場合であっても、継目無鋼管の Ni 濃度を高めることによって、引張強度 950 MPa 以上および降伏強度 850 MPa 以上の高強度と、-40 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 60 J 以上の高靱性を確保し得ることを見出し、上記特許文献 5 において開示した。

【 0 0 1 4 】

しかしながら、肉厚が 5 mm ~ 30 mm の継目無鋼管であれば、Ni を 0.02 % 以上

50

含有させることによって満足な高強度と高靱性を確保することができるが、以下に示すとおり、肉厚が30mmを超える継目無鋼管においては、0.02%以上のNi含有量であっても、比較的低いNi含有量の場合には満足な高強度と高靱性を確保できるとは限らないことが分かった。

【0015】

上記特許文献5には、Niの含有量とその作用に関して、「Niは、焼入れ性を向上させて強度を高めると共に、靱性を高める作用がある。その効果を得るために、0.02%以上含有させる必要があるが、1.5%を越えて含有させるのは経済性の面から考えて不利である。従って、Niの含有量を0.02～1.5%とした。なお、Ni含有量の好ましい下限値は、0.05%であり、さらに好ましい下限値は、0.1%である。また、Ni含有量の好ましい上限値は、1.3%であり、さらに好ましい上限値は、1.15%である。なお、特に肉厚25mm超の厚肉の鋼管の場合には、Niを0.50%以上含有させることで、所望の高強度と靱性を確保することが容易になる。」(特許文献5の段落0040参照)との記載がある。

10

【0016】

上記特許文献5には、さらに、その実施例1において、種々のNi含有量を有する鋼種(鋼No.19～22)のインゴットから、3種の肉厚(20mm、30mmおよび45mm)の板材を作製し、焼入れおよび焼戻しの処理を施して、熱処理板材を得て、これに引張試験とシャルピー衝撃試験を施した結果が記載されている。

20

【0017】

参考までに、それらの鋼種の化学成分(質量%)、Ac₁変態点()およびAc₃変態点()を次表Aに、そして、板材の厚さ(mm)、焼入れ加熱温度()、焼戻し温度()、降伏強度(MPa)、引張強度(MPa)および吸収エネルギー(J)を次表Bに、それぞれ、再掲しておく。

【0018】

【 表 A 】

鋼 No.	化学成分													(質量%、残部はFeおよび不純物)					Ac ₁ 変 態点 (°C)	Ac ₃ 変 態点 (°C)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Ca	Mg	B	sol-Al	N			
19	0.14	0.29	1.00	0.015	0.0012		0.03	1.00	0.70	0.05	0.006	0.029	0.002			0.031	0.0053		780	889
20	0.15	0.28	1.00	0.015	0.0012		0.50	1.00	0.70	0.05	0.006	0.029	0.002			0.033	0.0050		768	870
21	0.15	0.29	1.00	0.016	0.0013		1.00	1.00	0.70	0.05	0.006	0.030	0.001			0.033	0.0053		757	857
22	0.12	0.29	1.00	0.016	0.0015		1.00	1.10	0.70	0.05	0.005	0.030	0.002			0.033	0.0050		755	864

【表 B】

表B

試験No.	鋼No.	厚さ (mm)	焼き入れ加熱 温度(°C)	焼き戻し温度 (°C)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	吸収エネルギー (J)
R1	19	20	920	650	963	1024	144
R2	19	30	920	650	910	972	179
R3	19	45	920	600	863	987	31
R4	20	20	920	650	937	987	185
R5	20	30	920	650	964	1013	187
R6	20	45	920	650	916	979	80
R7	21	20	920	650	1021	1064	70
R8	21	30	920	650	966	1005	172
R9	21	45	920	650	979	1036	97
R10	22	20	920	650	891	956	63
R11	22	30	920	650	915	969	196
R12	22	45	920	650	897	957	154

【0020】

なお、これらの板材の製造条件と試験条件は、次に示すとおりである。各鋼種について、100kgインゴットを真空溶解によって用意し、熱間鍛造によりブロック形状とした後、1250 で30分加熱し、1200～1000 の温度範囲で熱間圧延して、20mm、30mm、45mm厚の板材を作成した。これらの板材を920 、10分の条件で均熱後に水冷により焼入れし、さらに焼戻し処理を施して、熱処理板材を得た。焼戻しに関しては、600 または650 の2条件で30分均熱することで実施した。これらの熱処理板材の板厚中央部から圧延長手方向に平行に、JIS 2201(1998年版)の10号試験片を切り出し、JIS Z2241(1998年版)に準拠して引張試験

10

20

30

40

50

を実施した。また、熱処理板材の板厚中央部から圧延幅方向に平行に、J I S Z 2 2 4 2 に準拠した 2 mm V ノッチフルサイズ試験片を切り出し、- 4 0 ° にてシャルピー衝撃試験を行い、吸収エネルギーを評価した。

【 0 0 2 1 】

この試験結果から、比較的高い N i 含有量 (0 . 5 % または 1 . 0 0 %) の鋼 N o . 2 0 ~ 2 2 の板材は、肉厚 2 0 mm、3 0 mm および 4 5 mm のいずれの板厚であっても、満足な高強度と高靱性を確保できた。しかしながら、比較的低い N i 含有量 (0 . 0 3 %) の鋼 N o . 1 9 は、肉厚 2 0 mm 及び 3 0 mm の場合 (試験 N o . R 1 および試験 N o . R 2) には満足な高強度と高靱性を確保できたが、肉厚 4 5 mm の場合 (試験 N o . R 3) には吸収エネルギーが 3 1 J と低位であり、満足な靱性を確保することができなかった。

10

【 0 0 2 2 】

このように、文献 5 に記載の高強度と高靱性を有する継目無鋼管であっても、肉厚が 3 0 mm を超える厚肉の鋼管の場合には、満足な高強度と高靱性を確保するためには、N i を 0 . 5 0 % 以上含有させることが必要となる。

【 0 0 2 3 】

しかしながら、N i は高価な金属であって、N i を多量に含有させることは、必然的にコスト上昇要因となり、経済性の低下を招く。

【 0 0 2 4 】

本発明は、このような現状に鑑みてなされたものであり、N i を実質的に含有しない合金設計で高強度と高靱性を有する肉厚が 3 0 mm を超える厚肉継目無鋼管を提供することを目的とする。より具体的には、クレーンのブーム等の機械構造部材に特に好適な、引張強度 9 5 0 M P a 以上および降伏強度 8 5 0 M P a 以上の高強度を有し、かつ、- 4 0 ° でのシャルピー吸収エネルギーが 6 0 J 以上の高靱性を有する肉厚が 3 0 mm を超える厚肉継目無鋼管を、N i を実質的に含有させることなく、提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 5 】

本発明者等は、上記の問題を達成するために、種々の鋼種のインゴットから、種々の外径と肉厚を有する板材を作製した。そして、焼入れおよび焼戻しの処理を 1 回または複数回施して、熱処理板材を得て、これに引張試験とシャルピー衝撃試験を施して、その引張強度および降伏強度を測定するとともに、- 4 0 ° にてシャルピー衝撃試験を行い、吸収エネルギーを評価することによって靱性を評価した。この結果、次の (a) ~ (h) に示すとおり
の知見を得た。

30

【 0 0 2 6 】

(a) 焼入れ焼戻しによって引張強度 9 5 0 M P a 以上を得る場合には、低温靱性を向上させるために、B を極力低減する必要がある。

【 0 0 2 7 】

(b) 焼入れ焼戻しによって引張強度 9 5 0 M P a 以上を得る場合には、低温靱性を向上させるために、C r と M o を適量含有させる必要がある。

【 0 0 2 8 】

(c) 焼入れ焼戻しによって引張強度 9 5 0 M P a 以上を得る場合には、低温靱性を向上させるために、V、T i および N b を適量含有させる必要がある。

40

【 0 0 2 9 】

(d) 不純物として含まれる S は、製造プロセスの中で M n と反応して M n S が生成するが、S の含有量が多いと吸収エネルギーが低下することから、この M n S が高強度の焼入れ焼戻し鋼の靱性に対して悪影響を及ぼしていると考えられる。したがって、S 含有量を低減する必要がある。S 含有量を低減するためには、S の含有量の少ない原料鉬石やスクラップを用いるか、又は、製鋼時に溶鋼中に C a や M g を含有させて S を低減すればよく、その結果、M n S の生成を抑制することができる。

【 0 0 3 0 】

50

(e) 本発明と同様の焼入れ焼戻しにて製造されるラインパイプ用継目無鋼管の一般的な鋼に比べて、Mn含有量が低めであっても、吸収エネルギーが高く、低温靱性に優れている。

【0031】

(f) その他の成分としては、Alが鋼の靱性および加工性を高めるのにも有効であるから、その適量を含むさせるのがよい。また、不純物中のPとNは、靱性を低下させる元素であるから、その含有量を抑制する必要がある。

【0032】

(g) Niを実質的に含有しない鋼種であってかつ肉厚が30mmを超える厚肉の板材であっても、その焼入れおよび焼戻しの処理を2回以上繰り返すことによって、引張強度950MPa以上および降伏強度850MPa以上の高強度と、かつ、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上の高靱性とを確保できる。

10

【0033】

(h) ただし、Niを実質的に含有しない場合には、Cuチェックングが生じやすくなるから、Cuの含有量も実質的に含有させないのがよい。

【0034】

本発明は、上記の知見に基づいて完成したものであって、その要旨は下記の(1)および(2)に示す継目無鋼管ならびに下記の(3)に示す継目無鋼管の製造方法にある。

【0035】

(1) 質量%で、C:0.10~0.20%、Si:0.05~1.0%、Mn:0.05~1.2%、Cr:0.50~1.50%、Mo:0.50~1.50%、Nb:0.002~0.10%、Al:0.005~0.10%、並びにTi:0.003~0.050%およびV:0.01~0.20%の1種または2種を含有し、残部はFeおよび不純物からなり、不純物中のNiが0.10%未満、Cuが0.20%以下、Pが0.025%以下、Sが0.005%以下、Nが0.007%以下およびBが0.0003%未満である低合金鋼からなり、引張強度950MPa以上、かつ降伏強度850MPa以上であって、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上であり、肉厚が30mm超であることを特徴とする継目無鋼管。

20

【0036】

(2) Feの一部に代えて、さらにCa:0.0005~0.0050%およびMg:0.0005~0.0050%のうち的一方または両方を含有する上記(1)の継目無鋼管。

30

【0037】

(3) 上記(1)または(2)の化学成分を有する低合金鋼を熱間製管して、肉厚30mm超の寸法形状に形成した後、焼入れ、焼戻しを2回以上行い、引張強度を950MPa以上、降伏強度を850MPa以上、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーを60J以上とすることを特徴とする継目無鋼管の製造方法。

【発明の効果】

【0038】

本発明によれば、クレーンのブーム等の機械構造部材に特に好適な、引張強度950MPa以上および降伏強度850MPa以上の高強度を有し、かつ、-40℃でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上の高靱性を有する肉厚が30mmを超える厚肉継目無鋼管を、Niを実質的に含有させることなく、提供することができる。

40

【発明を実施するための形態】

【0039】

以下に、本発明に係る継目無鋼管の化学成分を限定した理由について述べる。なお、以下に示す「%」は、「質量%」を意味する。

【0040】

C: C: 0.10~0.20%

Cは、鋼の強度を高める効果を有する元素である。Cの含有量が0.10%未満の場合、所望の強度を得るためには低温の焼戻しを必要とするが、その結果、靱性の低下をまね

50

く。一方、Cの含有量が0.20%を超えると、溶接性が著しく低下する。従って、C含有量は0.10~0.20%とした。C含有量の好ましい下限値は0.12%、より好ましい下限値は0.13%である。また、C含有量の好ましい上限値は0.18%である。

【0041】

Si: 0.05~1.0%

Siは、脱酸作用を有する元素である。また、この元素は、鋼の焼入れ性を高めて、強度を向上させる元素である。この効果を得るためにはSiが0.05%以上含まれていることが必要である。しかし、その含有量が1.0%を超えると、靱性および溶接性が低下する。従って、Siの含有量は、0.05~1.0%とした。Si含有量の好ましい下限値は0.1%、より好ましい下限値は0.15%である。また、好ましい上限値は0.6%、より好ましい上限値は0.50%である。

10

【0042】

Mn: 0.05~1.2%

Mnは、脱酸作用を有する元素である。また、この元素は、鋼の焼入れ性を高めて強度を向上させる元素である。この効果を得るためにはMnを0.05%以上含有させる必要がある。しかし、その含有量が1.2%を超えると、靱性が低下する。従って、Mnの含有量を0.05~1.2%とした。Mn含有量の好ましい下限値は0.30%である。また、好ましい上限値は1.1%である。

【0043】

Cr: 0.50~1.50%

20

Crは、鋼の焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を高めて強度を向上させるのに有効な元素である。引張強度950MPa以上の高強度鋼管において、その効果を発揮させるためには0.50%以上含有させる必要がある。しかし、その含有量が1.50%を超えると、靱性の低下を招く。従って、Crの含有量は0.50~1.50%とした。Cr含有量の好ましい下限値は0.60%であり、より好ましい下限値は0.8%である。また、Cr含有量の好ましい上限値は1.40%である。

【0044】

Mo: 0.50~1.50%

Moは、鋼の焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を高めて強度を向上させるのに有効な元素である。引張強度950MPa以上の高強度鋼管において、その効果を発揮させるためには0.50%以上含有させる必要がある。しかし、その含有量が1.50%を超えると、靱性の低下を招く。従って、Moの含有量は0.50~1.50%とした。Mo含有量の好ましい下限値は0.70%である。また、Mo含有量の好ましい上限値は1.0%である。

30

【0045】

上記のように、本発明では、Cr及びMoにより、鋼の焼入れ性および焼戻し軟化抵抗を高めて強度を向上させる手法を採用する。なお、Cr+Moの合計量で1.50%を超えて含有させるのが好ましく、1.55%以上含有させるのがより好ましい。

【0046】

Nb: 0.002~0.10%

40

Nbは、高温域で炭窒化物を形成して、結晶粒の粗大化を抑制し、靱性を向上させる効果のある元素である。その効果を得るためには、Nbを0.002%以上含有させる必要がある。しかし、その含有量が0.10%を超えると、炭窒化物が粗大になりすぎて、かえって靱性を低下させる。従って、Nb含有量を0.002~0.10%とした。なお、Nb含有量の好ましい上限値は0.05%である。

【0047】

Al: 0.005~0.10%

Alは、脱酸作用を有する元素である。この元素は、鋼の靱性および加工性を高める効果がある。この効果を得るためには、0.005%以上含有させる必要がある。しかし、その含有量が0.10%を超えると、地疵の発生が著しくなる。従って、Al含有量を0

50

． 0 0 5 ～ 0 ． 1 0 %とした。なお、A l 含有量の好ましい上限値は、0 ． 0 5 %である。ここで、本発明にいうA l 含有量とは、酸可溶A l (いわゆるs o l . A l)の含有量を指す。

【 0 0 4 8 】

T i およびVは、いずれか一方もしくは両方を含有させる必要がある。

【 0 0 4 9 】

T i : 0 ． 0 0 3 ～ 0 ． 0 5 0 %

T i は、焼戻しの際にT i 炭化物として析出し、強度を向上させる効果がある。この効果を得るためには、0 ． 0 0 3 %以上含有させる必要がある。ただし、その含有量が0 ． 0 5 0 %を越えると、凝固中など高温域で粗大な炭窒化物が形成し、また焼戻し時のT i 炭化物の析出量が過剰となるため、靱性が低下する。従って、T i 含有量を0 ． 0 0 3 ～ 0 ． 0 5 0 %とした。

【 0 0 5 0 】

V : 0 ． 0 1 ～ 0 ． 2 0 %

Vは、焼戻しの際にV炭化物として析出し、強度を向上させる効果がある。この効果を得るためには、0 ． 0 1 %以上含有させる必要がある。ただし、その含有量が0 ． 1 5 0 %を越えると、焼戻し時のV炭化物の析出量が過剰となるため、靱性が低下する。従って、V含有量を0 ． 0 1 %～0 ． 2 0 %とした。なお、V含有量の好ましい上限は0 ． 1 5 %である。

【 0 0 5 1 】

本発明に係る継目無鋼管は、上記の成分のほか、残部がF eと不純物からなるものである。ここで、不純物とは、原料鉱石やスクラップ等から混入する成分であって、本発明に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。しかしながら、特に、不純物中のN i、C u、P、S、NおよびBは、次に述べるように、その含有量を抑制する必要がある。

【 0 0 5 2 】

本発明は、その目的において、実質的にN iを含有しないことを前提としている。

N i : 0 ． 1 0 %未満

本発明においては、実質的にN iを含有させないことを前提としているので、N iは添加しない。不純物として含有されとしても、N iの含有量を0 ． 1 0 %未満に制限する必要がある。不純物としてのN iの含有量は、好ましくは0 ． 0 3 %以下、より好ましくは0 ． 0 2 5 %以下、さらに好ましくは0 ． 0 2 %以下である。

【 0 0 5 3 】

C u : 0 ． 2 0 %以下

なお、本発明においては、不純物としてのN iを0 ． 1 0 %未満に制限しているため、C uチェックが生じやすくなる。したがって、C uは添加しない。不純物として含有されとしても、C uの含有量を0 ． 2 0 %以下に制限する必要がある。不純物としてのC uの含有量は、好ましくは0 ． 0 5 %以下、より好ましくは0 ． 0 3 %以下、さらに好ましくは0 ． 0 1 %以下である。

【 0 0 5 4 】

P : 0 ． 0 2 5 %以下

Pは、不純物として鋼中に存在する元素であるが、その含有量が0 ． 0 2 5 %を越えると靱性が著しく低下するため、不純物としての上限を0 ． 0 2 5 %とした。好ましい上限は、0 ． 0 2 0 %である。

【 0 0 5 5 】

S : 0 ． 0 0 5 %以下

Sは、Pと同様に不純物として鋼中に存在する元素であるが、その含有量が0 ． 0 0 5 %を越えると靱性が著しく低下するため、不純物としての上限を0 ． 0 0 5 %とした。なお、Sの含有量の好ましい上限は、0 ． 0 0 3 %である。

【 0 0 5 6 】

N : 0 . 0 0 7 % 以下

N は、不純物として鋼中に存在する元素であるが、その含有量が 0 . 0 0 7 % を越えると靱性が著しく低下するため、不純物としての上限を 0 . 0 0 7 % とした。

【 0 0 5 7 】

B : 0 . 0 0 0 3 % 未満

B は、通常、含有させることにより焼入れ性を向上させ、強度を高める効果のある元素である。しかしながら、C r および M o が一定量含有されている鋼に、B が 0 . 0 0 0 3 % 以上含有されていると、焼戻し時に粗大な硼化物を形成し、靱性を低下させる。従って、本発明において、B の不純物としての上限を 0 . 0 0 0 3 % 未満とした。

【 0 0 5 8 】

また、本発明に係る継目無鋼管は、上記の成分のほか、C a および M g のうちの一方または両方を、必要に応じて含有させても良い。

【 0 0 5 9 】

C a : 0 . 0 0 5 0 % 以下

C a は、鋼中の S と反応して硫化物を形成することにより介在物の形態を改善し、鋼の靱性を向上させる効果を有するので必要に応じて含有させてもよい。しかしながら、その含有量が 0 . 0 0 5 0 % を超えると、鋼中の介在物量が増大し、鋼の清浄度が低下するので、かえって靱性が低下する。従って、C a を含有させる場合には、その含有量を 0 . 0 0 5 0 % 以下とするのが好ましい。なお、上記効果を安定的に発現させたい場合には、C a の含有量を 0 . 0 0 0 5 % 以上とするのが好ましい。

【 0 0 6 0 】

M g : 0 . 0 0 5 0 % 以下

M g もまた、鋼中の S と反応して硫化物を形成することにより介在物の形態を改善し、鋼の靱性を向上させる効果を有する。しかしながら、その含有量が 0 . 0 0 5 0 % を超えると、鋼中の介在物量が増大し、鋼の清浄度が低下するので、かえって靱性が低下する。従って、M g を含有させる場合には、その含有量を 0 . 0 0 5 0 % 以下とするのが好ましい。なお、上記効果を安定的に発現させたい場合には、M g の含有量を 0 . 0 0 0 5 % 以上とするのが好ましい。

【 0 0 6 1 】

なお、本発明においては、対象の鋼管を、肉厚 3 0 m m 超の肉厚の大きいサイズものに限定している。この理由は、肉厚が 3 0 m m 以下のサイズにおいては、N i を実質的に含有していなくても、特許文献 5 に開示された方法によって、引張強度 9 5 0 M P a 以上、かつ降伏強度 8 5 0 M P a 以上であって、- 4 0 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 6 0 J 以上という、目的とする機械的特性値が実現できるからである。

【 0 0 6 2 】

本発明の鋼管は、望ましい態様にあつては、外径が 1 8 5 m m 以上である。また本発明の鋼管は、望ましい態様にあつては、- 4 0 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 8 0 J 以上であり、さらに望ましい態様にあつては、- 4 0 °C でのシャルピー吸収エネルギーが 1 0 0 J 以上である。

【 0 0 6 3 】

次に、本発明の鋼管の製造方法について述べる。

【 0 0 6 4 】

造管手段は特に限定しない。例えば、熱間での穿孔、圧延および延伸工程にて製造しても良いし、熱間押し出しプレスにより製造しても良い。例えば、通常のマンネスマンープラグミル方式 (Mannesmann-plug mill method)、あるいはマンネスマンーマンドレルミル方式 (Mannesmann-mandrel mill method) を用いることができる。

【 0 0 6 5 】

本発明の鋼管を製造する方法として、発明者が提示する手段は、上記の方法により熱間で造管された素管に対して、2 回以上の焼入れ、焼戻しを行うことである。焼入れは、用いる鋼の A c ₃ 変態点以上に加熱し、その後急冷することによって行う。急冷手段として

10

20

30

40

50

は、水冷や油冷等が適用できる。焼戻しは、用いる鋼の $A c_1$ 変態点未満の温度に加熱することによって行う。 $A c_1$ 変態点未満の温度で均熱後、空冷することが望ましい。

【0066】

2回以上の焼入れ、焼戻し操作を行う手法としては、いくつかの方法がある。以下に、その方法を例示する。

【0067】

その一つは、前記熱間での造管後、一旦自然冷却等で素管を常温に冷却した後、オフラインの熱処理炉を用いて焼入れ、焼戻しを複数回繰り返す方法である。この場合は、2回とも常温から再加熱され、逆変態を経ることで優れた靱性を確保しやすい。

【0068】

10

二番目の手法は、前記熱間での造管の仕上げ圧延終了後、十分な保有熱を有する素管を速やかに熱処理炉に移し、 $A r_3$ 変態点温度以上で均熱して、 $A r_3$ 変態点以上の温度から急冷することで焼入れを行い、1回目の焼入れとすることである。本願明細書ではこの方法による焼入れをインライン焼入れと言う。その後、オフラインの熱処理炉で焼戻しを行い、更に焼入れ、焼戻しを1回以上繰り返す。この場合、インライン焼入れは常温から加熱するオフラインでの焼入れと比較して省エネルギーの効果が有り、また靱性も前述の手法に比較的近いものが得られやすい。

【0069】

三番目の手法は、前記熱間での造管の仕上げ圧延終了直後の、素管が $A r_3$ 変態点以上の温度にある状態から、急冷して焼入れ、1回目の焼入れとする方法であり、以降の焼戻しや2回目以降の焼入れ、焼戻し工程に関しては、二番目の手法と同様である。この方法は省エネルギー効果においては非常に優れるが、靱性確保の点では、前記二つの手法に比べて劣る。

20

【0070】

以上、三つの手法について説明したが、この区分は、単に、熱間製管後冷却終了までの方法に基づいて行ったものであって、上記でオフライン熱処理炉で行うと記載された工程を、インラインに組み入れて行うことは、特別な設備が必要な問題はあるものの、原理的には何等差のないことは明らかである。

【実施例】

【0071】

30

表1に示す化学成分の鋼を溶製し、転炉 - 連続鑄造プロセスにより、断面が矩形のビレットおよび外径310mmの円柱ビレットを鑄造した。矩形ビレットは、さらに熱間鍛造により外径170mmの円柱ビレットと外径225mmの円柱ビレットに成形した。

【0072】

【表 1】

表1

鋼種	化学成分											(質量%、残部:Feおよび不純物)				
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Ca	B	sol-Al	N
A	0.16	0.31	1.01	0.01	0.002	0.03	0.02	0.98	0.70	0.06	0.011	0.029	0.0009	0.0001	0.034	0.0053
B	0.19	0.28	1.03	0.01	0.004	0.01	0.03	1.06	0.67	0.05	0.011	0.024	0.0010	0.0001	0.034	0.0055
C	0.16	0.31	1.01	0.010	0.0016	0.03	0.02	0.98	0.70	0.06	0.012	0.029	0.0015	0.0001	0.039	0.0039

10

20

30

40

これらの円柱ピレットを、1240 に加熱し、マンネスマン - マンドレル方式によって、表6に示す寸法の継目無鋼管を作製した。その後、表2に示す温度条件で、焼入れ焼戻し熱処理を施して、製品鋼管を製造した。

【0074】

得られた各製品鋼管について、長手方向の両端位置（圧延方向で先端側をT端、末端側をB端とする）の強度特性をJIS Z2201の4号（丸棒）試験片を用いて、JIS Z2241に準拠した引張試験を実施して評価し、靱性をJIS Z2242に準拠した2mmVノッチフルサイズ試験片を切り出し、-40 にてシャルピー衝撃試験を3本実施した中で、最も低い吸収エネルギーとして評価した。表2に各製品鋼管の強度および靱性の評価結果を示す。

【0075】

【表 2】

表2

試験 No.	鋼種	外径 (mm)	厚さ (mm)	熱処理**	1回目焼入 加熱温度 (°C)	1回目焼 戻し温度 (°C)	2回目焼入 加熱温度 (°C)	2回目焼 戻し温度 (°C)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	吸収エネルギー (J)	備考
1	A	193.7	14.2*	As-rolled + QT	920	650	—	—	923	996	161	比較例
2	A	273	25*	As-rolled + QT	920	650	—	—	935	999	174	比較例
3	A	355.6	30*	As-rolled + QT	920	600	—	—	911	977	126	比較例
4	A	323.9	38	As-rolled + QT	920	650	—	—	858	944	41*	比較例
5	A	323.9	38	As-rolled + QT + QT	950	560	920	645	865	965	110	本発明例
6	B	241.8	40	As-rolled + QT	950	600	—	—	1064	1140	48*	比較例
7	B	241.8	40	As-rolled + QT	950	675	—	—	758*	846*	200	比較例
8	B	298.5	45	As-rolled + QT	950	650	—	—	842*	917*	163	比較例
9	B	323.9	38	InQ + T + QT	950	560	920	635	881	1044	156	本発明例
10	B	323.9	38	As-rolled + QT + QT	950	560	920	635	970	1031	167	本発明例
11	B	241.8	40	As-rolled + QT + QT	950	560	920	635	933	1009	176	本発明例
12	B	298.5	45	As-rolled + QT + QT	950	560	920	625	934	1000	116	本発明例
13	C	219.1	15*	As-rolled + QT	920	625	—	—	1009	1126	65	比較例
14	C	219.1	15*	As-rolled + QT	920	650	—	—	955	1056	128	比較例
15	C	168.3	12*	As-rolled + QT	920	600	—	—	1036	1111	66	比較例
16	C	168.4	12*	As-rolled + QT	920	625	—	—	1016	1083	102	比較例
17	C	168.5	12*	As-rolled + QT	920	650	—	—	974	1035	141	比較例
18	C	273	25*	As-rolled + QT	920	625	—	—	1001	1082	95	比較例
19	C	273	25*	As-rolled + QT	920	650	—	—	978	1072	100	比較例
20	C	298.5	45	As-rolled + QT	920	600	—	—	875	972	31*	比較例
21	C	323.9	38	As-rolled + QT	920	635	—	—	888	985	50*	比較例

* 本発明の範囲外であることを示す。

** As-rolledとは、熱間圧延後の放冷を、InQはインライン焼入れを、Tは焼戻しを、QTは再加熱による焼入れと焼戻しを行ったことを示す。

焼入れ焼戻しを2回繰り返したNo.5および9～12の鋼管（本発明例）に関しては、30mm超の肉厚、185mm以上の外径、そして、Ni含有量が0.10%未満であるにもかかわらず、降伏強度850MPa以上、引張強度950MPa以上および-40でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上と、良好な高強度かつ高靱性の結果が得られた。

【0077】

これに対して、比較例に係るNo.1～3および13～19は、1回の焼入れ・焼戻しにより、850MPa以上の降伏強度、950MPa以上の引張強度、60J以上の吸収エネルギー（-40）を達成できているが、肉厚が30mm以下の例である。また、比較例に係るNo.4、6、20および21は、1回の焼入れ・焼戻しを行ったものであるが、吸収エネルギーが小さく靱性が不足している。また、比較例に係るNo.7および8は、1回の焼入れ・焼戻しを行ったものであり、靱性は満足できる水準にあるものの、降伏強度、引張強度が不足している。

10

【産業上の利用可能性】

【0078】

以上説明したように、本発明によれば、クレーンのブーム等の機械構造部材に特に好適な、引張強度950MPa以上および降伏強度850MPa以上の高強度を有し、かつ、-40でのシャルピー吸収エネルギーが60J以上の高靱性を有する肉厚が30mmを超える厚肉継目無鋼管を、Niを実質的に含有させることなく、提供することができる。