

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7674693号
(P7674693)

(45)発行日 令和7年5月12日(2025.5.12)

(24)登録日 令和7年4月30日(2025.4.30)

(51)国際特許分類

F I

C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C	38/00	3 0 1 Z
C 2 2 C	38/54	(2006.01)	C 2 2 C	38/54	
B 6 0 R	21/26	(2011.01)	B 6 0 R	21/26	
C 2 1 D	8/10	(2006.01)	C 2 1 D	8/10	C
C 2 1 D	9/08	(2006.01)	C 2 1 D	9/08	E

請求項の数 4 (全21頁)

(21)出願番号 特願2024-529983(P2024-529983)
 (86)(22)出願日 令和6年2月19日(2024.2.19)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2024/005810
 (87)国際公開番号 WO2024/185477
 (87)国際公開日 令和6年9月12日(2024.9.12)
 審査請求日 令和6年5月21日(2024.5.21)
 (31)優先権主張番号 特願2023-36923(P2023-36923)
 (32)優先日 令和5年3月9日(2023.3.9)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)
 早期審査対象出願

(73)特許権者 000006655
 日本製鉄株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74)代理人 110002044
 弁理士法人プライタス
 (72)発明者 青木 孝輔
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 日本製鉄株式会社内
 (72)発明者 中村 浩史
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 日本製鉄株式会社内
 審査官 河野 一夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 継目無鋼管およびエアバッグ用インフレータボトル

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

化学組成が、質量%で、
 C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 0 %、
 S i : 0 . 0 5 ~ 0 . 5 0 %、
 M n : 0 . 3 0 ~ 1 . 5 0 %、
 P : 0 . 0 2 5 % 以下、
 S : 0 . 0 2 0 % 以下、
 C u : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、
 N i : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、
 C r : 0 . 0 1 ~ 1 . 2 0 %、
 M o : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、
 T i : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 %、
 N b : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、
 C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 2 5 %、
 A l : 0 . 0 8 0 % 以下、
 N : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
 V : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、
 B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
 M g : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

REM : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
 Sn : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、
 As : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
 残部 : Fe および不純物であり、
 前記各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、
 前記化学組成は、肉厚との関係において、下記 (i) 式を満足し、
 さらに、前記化学組成は、旧オーステナイト結晶粒度との関係において、下記 (ii) 式を満足し、

引張強さが 1 0 0 0 M P a 以上であり、
 破断伸びが 8 . 0 % 以上であり、
 限界水素濃度が 2 . 5 p p m 以上である、
 継目無鋼管。

10

$WT / (5 C + M o + C r) \leq 1 . 0 0 \dots (i)$

$GN - 1 . 5 1 \times (M n + 8 5 P - 3 0 C a) \leq 8 . 5 0 \dots (ii)$

但し、上記式中の元素記号は、各元素の鋼中含有量 (質量 %) を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、WT は、前記継目無鋼管の肉厚 (m m) を意味し、GN は、旧オーステナイト結晶粒度を意味する。

【請求項 2】

前記化学組成が、質量 % で、

V : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、

20

B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

REM : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Sn : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、および、

As : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 %、

から選択される 1 種以上を含有する、

請求項 1 に記載の継目無鋼管。

【請求項 3】

一方向に延びる円筒部と、該円筒部の前記一方向における少なくとも一端側に形成された縮径部とを備え、

30

前記円筒部の化学組成が、質量 % で、

C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 0 %、

Si : 0 . 0 5 ~ 0 . 5 0 %、

M n : 0 . 3 0 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 2 5 % 以下、

S : 0 . 0 2 0 % 以下、

C u : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

N i : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

C r : 0 . 0 1 ~ 1 . 2 0 %、

M o : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

40

T i : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 %、

N b : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、

C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 2 5 %、

A l : 0 . 0 8 0 % 以下、

N : 0 . 0 1 0 0 % 以下、

V : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、

B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

M g : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

REM : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Sn : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、

50

As : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
 残部 : Fe および不純物であり、
 前記各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、
 前記円筒部の化学組成は、前記円筒部の肉厚との関係において、下記 (i) 式を満足し、
 さらに、前記円筒部の化学組成は、前記円筒部の旧オーステナイト結晶粒度との関係に
 おいて、下記 (ii) 式を満足し、
 前記円筒部の引張強さが 1 0 0 0 M P a 以上であり、
 前記円筒部の破断伸びが 8 . 0 % 以上であり、
 前記円筒部の限界水素濃度が 2 . 5 p p m 以上である、
 エアバッグ用インフレーターボトル。

10

$$W T / (5 C + M o + C r) \quad 1 . 0 0 \quad \dots (i)$$

$$G N - 1 . 5 1 \times (M n + 8 5 P - 3 0 C a) \quad 8 . 5 0 \quad \dots (ii)$$

但し、上記式中の元素記号は、前記円筒部における各元素の鋼中含有量 (質量 %) を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、WT は、前記円筒部の肉厚 (m m) を意味し、GN は、前記円筒部における旧オーステナイト結晶粒度を意味する。

【請求項 4】

前記円筒部の化学組成が、質量 % で、
 V : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、
 B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
 M g : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
 R E M : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
 S n : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、および、
 A s : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 %、
 から選択される 1 種以上を含有する、
 請求項 3 に記載のエアバッグ用インフレーターボトル。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、継目無鋼管およびエアバッグ用インフレーターボトルに関する。

【背景技術】

30

【0002】

自動車産業において、安全性を追求した装置の導入が積極的に進められている。その中でも、衝突時に乗員がハンドルまたはインストルメントパネル等に衝突する前に、それらと乗員との間にガス等でエアバッグを展開させ、乗員の運動エネルギーを吸収して傷害軽減を図るエアバッグシステムが搭載されるようになってきている。エアバッグシステムとしては、従来、爆発性薬品を使用する方式が採用されてきたが、環境リサイクル性の面から高圧充填ガスを使用するシステムが開発され、その適用が広がっている。

【0003】

上記のシステムは、衝突時にエアバッグ内に吹出するガス等を常時高圧に保ったうえで、衝突時には一気にガスを噴出させるものである。このため、エアバッグ用の鋼管には、極めて短時間に大きな歪速度で応力が負荷されることとなる。したがって、使用される鋼管には、高い強度と優れた耐バースト性が要求される。

40

【0004】

最近では、自動車の軽量化に対する要求が強まっている。その観点から、車載用のエアバッグ用鋼管に対しても薄肉化、軽量化が要望されており、薄肉であっても高いバースト圧を確保するため、引張強さが 9 0 0 M P a 以上の高強度の継目無鋼管から製造されたインフレーターボトルがエアバッグシステムに用いられるようになってきた。

【0005】

さらに、例えば、インフレーターボトル等を製造する際には縮径加工が施されるため、エアバッグ用鋼管には、優れた縮径加工性が求められている。

50

【 0 0 0 6 】

これらを背景に、例えば、特許文献 1 および 2 には、エアバッグ用継目無鋼管が開示されている。特許文献 1 および 2 によれば、強度の向上、ならびに靱性および加工性の改善が検討されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 文献 】 特開 2 0 0 4 - 2 7 3 0 3 号公報

【 文献 】 特開 2 0 0 4 - 7 6 0 3 4 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

しかし、エアバッグ用鋼管として、より高い信頼性を確保するためには、製造工程および使用環境において鋼管へ侵入する水素による脆化を抑制することが要求される。特許文献 1 および 2 では、鋼管の耐水素脆化特性については一切検討がなされていない。

【 0 0 0 9 】

本発明は、高い強度と優れた縮径加工性を有し、さらに優れた耐水素脆化特性を備えた継目無鋼管およびエアバッグ用インフレーターボトルを提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、下記に示す継目無鋼管およびエアバッグ用インフレーターボトルを要旨とする。

【 0 0 1 1 】

(1) 化学組成が、質量%で、

C : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 0 %、

S i : 0 . 0 5 ~ 0 . 5 0 %、

M n : 0 . 3 0 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 2 5 % 以下、

S : 0 . 0 2 0 % 以下、

C u : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

N i : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

C r : 0 . 0 1 ~ 1 . 2 0 %、

M o : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 0 %、

T i : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 0 %、

N b : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、

C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 2 5 %、

A l : 0 . 0 8 0 % 以下、

N : 0 . 0 1 0 0 % 以下、

V : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、

B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

M g : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

R E M : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

S n : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、

A s : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、

残部 : F e および不純物であり、

前記各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、

前記化学組成は、肉厚との関係において、下記 (i) 式を満足し、

さらに、前記化学組成は、旧オーステナイト結晶粒度との関係において、下記 (ii) 式を満足し、

引張強さが 1 0 0 0 M P a 以上であり、

10

20

30

40

50

破断伸びが 8.0% 以上であり、
 限界水素濃度が 2.5 ppm 以上である、
 継目無鋼管。

$WT / (5C + Mo + Cr) \leq 1.00 \dots (i)$

$GN - 1.51 \times (Mn + 85P - 30Ca) \leq 8.50 \dots (ii)$

但し、上記式中の元素記号は、各元素の鋼中含有量(質量%)を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、WTは、前記継目無鋼管の肉厚(mm)を意味し、GNは、旧オーステナイト結晶粒度を意味する。

【0012】

(2) 前記化学組成が、質量%で、

V : 0.001 ~ 0.100%、

B : 0.0001 ~ 0.0050%、

Mg : 0.0001 ~ 0.0100%、

REM : 0.0001 ~ 0.0100%、

Sn : 0.001 ~ 0.100%、および、

As : 0.001 ~ 0.010%、

から選択される1種以上を含有する、

上記(1)に記載の継目無鋼管。

10

【0013】

(3) 一方向に延びる円筒部と、該円筒部の前記一方向における少なくとも一端側に形成された縮径部とを備え、

前記円筒部の化学組成が、質量%で、

C : 0.05 ~ 0.20%、

Si : 0.05 ~ 0.50%、

Mn : 0.30 ~ 1.50%、

P : 0.025% 以下、

S : 0.020% 以下、

Cu : 0.01 ~ 0.50%、

Ni : 0.01 ~ 0.50%、

Cr : 0.01 ~ 1.20%、

Mo : 0.01 ~ 0.50%、

Ti : 0.001 ~ 0.050%、

Nb : 0.001 ~ 0.100%、

Ca : 0.0005 ~ 0.0025%、

Al : 0.080% 以下、

N : 0.0100% 以下、

V : 0 ~ 0.100%、

B : 0 ~ 0.0050%、

Mg : 0 ~ 0.0050%、

REM : 0 ~ 0.0050%、

Sn : 0 ~ 0.100%、

As : 0 ~ 0.010%、

残部：Feおよび不純物であり、

前記各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、

前記円筒部の化学組成は、前記円筒部の肉厚との関係において、下記(i)式を満足し、

さらに、前記円筒部の化学組成は、前記円筒部の旧オーステナイト結晶粒度との関係に

において、下記(ii)式を満足し、

前記円筒部の引張強さが 1000 MPa 以上であり、

前記円筒部の破断伸びが 8.0% 以上であり、

前記円筒部の限界水素濃度が 2.5 ppm 以上である、

20

30

40

50

エアバッグ用インフレーターボトル。

$WT / (5C + Mo + Cr) \leq 1.00 \dots (i)$

$GN - 1.51 \times (Mn + 85P - 30Ca) \leq 8.50 \dots (ii)$

但し、上記式中の元素記号は、前記円筒部における各元素の鋼中含有量（質量％）を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、WTは、前記円筒部の肉厚（mm）を意味し、GNは、前記円筒部における旧オーステナイト結晶粒度を意味する。

【0014】

（4）前記円筒部の化学組成が、質量％で、

V：0.001～0.100％、

B：0.0001～0.0050％、

Mg：0.0001～0.0100％、

REM：0.0001～0.0100％、

Sn：0.001～0.100％、および、

As：0.001～0.010％、

から選択される1種以上を含有する、

上記（3）に記載のエアバッグ用インフレーターボトル。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、高い強度と優れた縮径加工性を有し、さらに優れた耐水素脆化特性を備えた継目無鋼管およびエアバッグ用インフレーターボトルを得ることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】限界水素濃度の測定に用いられる弧状引張試験片の形状を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明者らは、継目無鋼管の強度と縮径加工性とを両立させ、かつ耐水素脆化特性を確保するための方法について鋭意研究を重ねた。その結果、下記の知見を得た。

【0018】

（a）継目無鋼管の高強度化を実現するためには、焼入れ性を向上させる元素の含有量を増加させる必要がある。なかでも、C、MoおよびCrの含有量を十分に確保することが効果的である。しかしながら、継目無鋼管の肉厚に対して、これらの元素の含有量が過剰であると、縮径加工性が確保できなくなる。そのような観点から、継目無鋼管の化学組成と肉厚とのバランスの制御が重要であり、具体的には、下記（i）式を満足することとする。

$WT / (5C + Mo + Cr) \leq 1.00 \dots (i)$

【0019】

（b）加えて、縮径加工性を確保するためには、延性の向上も重要であり、具体的には、破断伸びを8.0％以上とする必要がある。化学組成の制御に加えて、適切な条件で製造することによって、上記の破断伸びを達成することが可能である。

【0020】

（c）Mn含有量が過剰であると、水素の拡散速度が低下し、局所的な濃化を生じさせるだけでなく、MnSを生成することで、耐水素脆化特性の劣化を招く。また、Pは粒界に偏析して耐水素脆化特性を劣化させる。一方、CaはMnSの生成を抑制する効果を有するため、耐水素脆化特性を向上させる。

【0021】

（d）本発明者らの検討により、耐水素脆化特性の劣化の度合いは、旧オーステナイト結晶粒度に応じて変化することが明らかとなった。そして、Mn、PおよびCaの含有量と、旧オーステナイト結晶粒度GNとが耐水素脆化特性に与える影響を評価した結果、各元素の含有量を所定の範囲内に調整するとともに、下記（ii）式を満足することによって

10

20

30

40

50

、優れた耐水素脆化特性を得ることが可能であることを見出した。

$GN - 1.51 \times (Mn + 85P - 30Ca) - 8.50 \dots (ii)$

【0022】

(e)さらに、耐水素脆化特性を向上させるためには、焼戻し工程において、予熱を行う必要がある。予熱を行うことによって耐水素脆化特性がさらに向上するメカニズムについては明らかになっていないが、肉厚方向における温度分布が解消し、金属組織が均一になるためであると考えられる。

【0023】

本発明は上記の知見に基づいてなされたものである。以下、本発明の各要件について詳しく説明する。

【0024】

(A)化学組成

本発明の一実施形態に係る継目無鋼管の化学組成の限定理由は次のとおりである。以下の説明において各元素の含有量についての「%」は、「質量%」を意味する。

【0025】

C : 0.05 ~ 0.20 %

Cは、安価に鋼の強度を高めるのに有効な元素である。その含有量が0.05%未満では所望の引張強さを得ることが困難であり、0.20%を超えると加工性および溶接性が低下する。したがって、Cの含有量を0.05~0.20%とする。C含有量の好ましい範囲は0.06%以上、0.18%以下であり、より好ましい範囲は0.07%以上、0.17%以下である。縮径加工性を特に重視する場合には、C含有量は0.17%未満であるのがさらに好ましい。

【0026】

Si : 0.05 ~ 0.50 %

Siは、脱酸作用を有するほか、鋼の焼入れ性を高めて強度を向上させる元素である。この目的でSiの含有量を0.05%以上とする。しかし、その含有量が0.50%を超えると靱性が低下するため、Siの含有量を0.50%以下とする。Si含有量の好ましい範囲は0.10%以上、0.40%以下であり、より好ましい範囲は0.15%以上、0.30%以下である。

【0027】

Mn : 0.30 ~ 1.50 %

Mnは、脱酸作用を有するほか、鋼の焼入れ性を高めて強度と靱性とを向上させるのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.30%未満では十分な強度および靱性が得られない。一方、Mn含有量が1.50%を超えるとMnSの粗大化が起こり、これが熱間圧延時に展伸し、靱性および耐水素脆化特性が低下する。加えて、過剰なMnは、水素の拡散速度を低下させ、局所的な濃化を生じさせることによって、耐水素脆化特性の低下を招く。このため、Mnの含有量を0.30~1.50%とする。好ましいMnの含有量は0.40%以上、1.20%以下であり、より好ましい範囲は0.50%以上、1.00%以下である。

【0028】

P : 0.025 % 以下

Pは、鋼中に不純物として含まれ、粒界偏析に起因する靱性および耐水素脆化特性の低下をもたらす。特に、Pの含有量が0.025%を超えると、靱性および耐水素脆化特性の低下が著しくなる。したがって、Pの含有量を0.025%以下とする。Pの含有量は好ましくは0.020%以下、より好ましくは0.015%以下である。

【0029】

S : 0.020 % 以下

Sも、鋼中に不純物として含まれ、特に鋼管のT方向(鋼管の管軸方向に直交する方向)の靱性を低下させる。Sの含有量が0.020%を超えると、鋼管T方向の靱性低下が著しくなるので、Sの含有量を0.020%以下とする。好ましいSの含有量は0.01

10

20

30

40

50

0%以下である。

【0030】

Cu: 0.01~0.50%

Cuは、鋼の焼入れ性を高めることで強度と靱性とを向上させる。その効果は、0.01%以上のCuを含有していれば発現する。しかし、0.50%を超えてCuを含有させると、合金コストの上昇を招く。したがって、Cuの含有量を0.01~0.50%とする。好ましいCu含有量は0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.20%以上である。また、Cu含有量は、好ましくは0.40%以下、より好ましくは0.35%以下である。

【0031】

Ni: 0.01~0.50%

Niは、鋼の焼入れ性を高め、それにより強度と靱性とを向上させる。その効果は、0.01%以上のNiを含有していれば発現する。しかし、0.50%を超えてNiを含有させると、合金コストの上昇を招く。したがって、Niの含有量を0.01~0.50%とする。好ましいNi含有量は0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.20%以上である。Ni含有量は、好ましくは0.45%以下、より好ましくは0.40%以下である。

【0032】

Cr: 0.01~1.20%

Crは、鋼の焼入れ性を高め、また、焼き戻し軟化抵抗を高めて、強度と靱性とを向上させる。その効果は、0.01%以上のCrを含有していれば発現する。しかし、1.20%を超えてCrを含有させると、合金コストの上昇を招く。したがって、Crの含有量を0.01~1.20%とする。好ましいCr含有量は0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.20%以上である。Cr含有量は、好ましくは1.00%以下、より好ましくは0.90%以下である。

【0033】

Mo: 0.01~0.50%

Moは、鋼の焼入れ性を高め、また、焼き戻し軟化抵抗を高めて、強度と靱性とを向上させる。その効果は、0.01%以上のMoを含有していれば発現する。しかし、0.50%を超えてMoを含有させると、合金コストの上昇を招く。また、Mo含有量が過剰に高いと、継目無鋼管の熱間製管後の空冷においても、強度が高くなる傾向があり、冷間抽伸加工前に軟化熱処理が必要となり、製造コストの上昇を招く。したがって、Moの含有量を0.01~0.50%とする。好ましいMo含有量は0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.20%以上である。Mo含有量は、好ましくは0.45%以下、より好ましくは0.40%以下である。

【0034】

Ti: 0.001~0.050%

Tiは、鋼中でNを固定し、靱性を向上させる。また、微細に分散したTi窒化物は、結晶粒界を強くピン止めし、結晶粒を細粒化させ、鋼の靱性を向上させる。その効果を得るためには、0.001%以上含有させることが必要であるが、0.050%を超えて含有させると、窒化物が粗大化し、かえって靱性が低下する。したがって、Tiの含有量を0.001~0.050%とする。好ましいTi含有量は0.003%以上、より好ましくは0.005%以上、さらに好ましくは0.010%以上である。Ti含有量は、好ましくは0.045%以下、より好ましくは0.040%以下、さらに好ましくは0.030%以下である。

【0035】

Nb: 0.001~0.100%

Nbは、鋼中で炭化物として微細に分散し、結晶粒界を強くピン止めする。それにより、結晶粒を細粒化させ、鋼の靱性を向上させる効果を有する。その効果を得るためには、0.001%以上含有させることが必要であるが、0.100%を超えて含有させると、

10

20

30

40

50

炭化物が粗大化し、かえって靱性が低下する。したがって、Nbの含有量を0.001~0.100%とする。好ましいNb含有量は0.005%以上、より好ましいNb含有量は0.010%以上、さらに好ましくは0.015%以上である。Nb含有量は、好ましくは0.080%以下、より好ましくは0.060%以下である。

【0036】

Ca: 0.0005~0.0025%

Caは、鋼中に不可避不純物として存在するSを硫化物として固定し、靱性の異方性を改善して、鋼管のT方向の靱性を高め、これによって耐バースト性を高める。加えて、MnSの生成を抑制することで、耐水素脆化特性の向上にも寄与する。その効果は、0.0005%以上のCaを含有していれば発現する。しかし、0.0025%を超えて含有させると、介在物が増加して、かえって靱性が低下する。したがって、Caの含有量を0.0005~0.0025%とする。耐水素脆化特性の向上効果を確実に得るためには、Ca含有量は0.0010%以上であるのが好ましく、0.0010%超であるのがより好ましく、0.0012%以上であるのがさらに好ましく、0.0015%以上であるのがさらに好ましい。

10

【0037】

Al: 0.080%以下

Alは、脱酸作用を有し、靱性および加工性を高めるのに有効な元素である。しかし、0.080%を超えて含有させると、地疵の発生が著しくなる。したがって、Alの含有量を0.080%以下とする。Al含有量は、好ましくは0.060%以下、より好ましくは0.040%以下である。なお、Al含有量は不純物レベルであってもよいので、その下限は特に定めないが、0.005%以上とすることが好ましい。なお、本発明にいうAl含有量とは、酸可溶Al(所謂「sol-Al」)の含有量を指す。

20

【0038】

N: 0.0100%以下

Nは、微細な窒化物を形成し、それにより、結晶粒界を強くピン止めし、結晶粒を細粒化させ、鋼の靱性を向上させる。しかし、0.0100%を超えて含有させると、窒化物が粗大化し、かえって靱性が低下する。したがって、Nの含有量を0.0100%以下とする。N含有量は、好ましくは0.0080%以下、より好ましくは0.0050%以下である。なお、N含有量は不純物レベルであってもよいので、その下限は特に定めないが、0.0005%以上とすることが好ましく、0.0010%以上とすることがより好ましい。

30

【0039】

V: 0~0.100%

Vは、靱性を確保するとともに、析出強化により強度を高める元素であるため、必要に応じて含有させてもよい。しかし、0.100%を超えて含有させると靱性の低下を招く。したがって、含有させる場合のVの含有量を0.100%以下とする。V含有量は、好ましくは0.050%以下、より好ましくは0.010%以下である。Vの作用は微量でも認められるが、十分な効果を得るには、0.001%以上含有させることが好ましい。

【0040】

B: 0~0.0050%

Bは、微量添加することにより鋼中で粒界偏析し、鋼の焼入れ性を著しく向上させる元素であるため、必要に応じて含有させてもよい。しかし、0.0050%を超えるBを含有させると、結晶粒界に硼化物が粗大に析出し、靱性が低下する傾向が認められる。したがって、含有させる場合のBの含有量を0.0050%以下とする。B含有量は、好ましくは0.0030%以下、より好ましくは0.0020%以下である。Bの作用は微量でも認められるが、十分な効果を確認するには0.0001%以上含有させることが好ましく、0.0005%以上含有させることがより好ましい。

40

【0041】

Mg: 0~0.0050%

50

Mgは、Caと同様に、鋼中に不可避不純物として存在するSを硫化物として固定し、靱性の異方性を改善して、鋼管のT方向の靱性を高め、これによって耐バースト性を高める元素であるため、必要に応じて含有させてもよい。しかし、0.0050%を超えて含有させると、介在物が増加して、かえって靱性が低下する。したがって、含有させる場合のMgの含有量を0.0050%以下とする。Mg含有量は、好ましくは0.0040%以下、より好ましくは0.0030%以下である。Mgの作用は微量でも認められるが、十分な効果を確保するには0.0001%以上含有させることが好ましく、0.0005%以上含有させることがより好ましい。

【0042】

REM: 0 ~ 0.0050%

REMは、Caと同様に、鋼中に不可避不純物として存在するSを硫化物として固定し、靱性の異方性を改善して、鋼管のT方向の靱性を高め、これによって耐バースト性を高める元素であるため、必要に応じて含有させてもよい。しかし、0.0050%を超えて含有させると、介在物が増加して、かえって靱性が低下する。したがって、含有させる場合のREMの含有量を0.0050%以下とする。REM含有量は、好ましくは0.0040%以下、より好ましくは0.0030%以下である。REMの作用は微量でも認められるが、十分な効果を確保するには0.0001%以上含有させることが好ましく、0.0005%以上含有させることがより好ましい。

10

【0043】

本実施形態において「REM」とは、Sc、Y、およびランタノイドの合計17元素を指し、「REMの含有量」とは、REMが1種の場合はその含有量、2種以上の場合にはそれらの合計含有量を指す。また、REMは一般的には複数種のREMの合金であるミッシュメタルとしても供給されている。このため、個別の元素を1種または2種以上添加して含有させてもよいし、例えば、ミッシュメタルの形で添加してもよい。

20

【0044】

Sn: 0 ~ 0.100%

Snは、耐食性を向上させる効果を有するため、必要に応じて含有させてもよい。しかしながら、Snが過剰に含有されれば、靱性の低下を招く。したがって、Sn含有量は0.100%以下である。好ましいSn含有量は0.080%以下であり、より好ましくは、0.060%以下である。Snの作用は微量でも認められるが、十分な効果を確保するには0.001%以上含有させることが好ましく、0.003%以上含有させることがより好ましい。

30

【0045】

As: 0 ~ 0.010%

Asは、耐食性を向上させる効果を有するため、必要に応じて含有させてもよい。しかしながら、Asが過剰に含有されれば、熱間加工性の低下を招く。したがって、As含有量は0.010%以下である。好ましいAs含有量は0.008%以下であり、より好ましくは、0.006%以下である。Asの作用は微量でも認められるが、十分な効果を確保するには0.001%以上含有させることが好ましく、0.002%以上含有させることがより好ましい。

40

【0046】

本実施形態に係る継目無鋼管は、上述の各元素を含有し、残部がFeおよび不純物である。ここで「不純物」とは、鉄鋼材料を工業的に製造する際に、鉍石、スクラップ等の原料、製造工程の種々の要因によって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。

【0047】

本実施形態に係る継目無鋼管の化学組成は、各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、肉厚との関係において、下記(i)式を満足する。上述のように、C、MoおよびCrの含有量を十分に確保することによって、焼入れ性が向上し、継目無鋼管の高強度化を実現することが可能となる。しかし、縮径加工性の観点からは、継目無鋼管の化

50

学組成と肉厚とのバランスを調整する必要がある。下記 (i) 式を満足することで、縮径加工性を確保することが可能となる。下記 (i) 式の左辺値は、1.20 以上であるのが好ましく、1.50 以上であるのがより好ましく、2.00 以上であるのがさらに好ましい。

$$WT / (5C + Mo + Cr) \geq 1.00 \quad \dots (i)$$

但し、上記式中の元素記号は、各元素の鋼中含有量 (質量%) を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、WT は、継目無鋼管の肉厚 (mm) を意味する。

【0048】

また、本実施形態に係る継目無鋼管の化学組成は、各元素含有量が上述の範囲内であることを前提として、旧オーステナイト結晶粒度との関係において、下記 (ii) 式を満足する。耐水素脆化特性を劣化させる Mn および P、ならびに耐水素脆化特性を向上させる Ca の含有量を、旧オーステナイト結晶粒度に応じて調整することにより、優れた耐水素脆化特性を得ることが可能である。下記 (ii) 式の左辺値は、9.00 以上であるのが好ましく、9.50 以上であるのがより好ましく、10.00 以上であるのがさらに好ましい。

$$GN - 1.51 \times (Mn + 85P - 30Ca) \geq 8.50 \quad \dots (ii)$$

但し、上記式中の元素記号は、各元素の鋼中含有量 (質量%) を意味し、含有されない場合はゼロとする。また、GN は、旧オーステナイト結晶粒度を意味する。

【0049】

旧オーステナイト結晶粒度は、ASTM E112 (2013) に準拠して測定する。具体的には、継目無鋼管の管軸方向と肉厚方向を含む面 (以下では、「縦断面」ともいう。) が被検面 (以下、「観察面」という。) となるように全肉厚を含む試験片を採取し、観察面の鏡面研磨を実施する。研磨後、ピクラル腐食液を用いて観察面内の旧オーステナイト結晶粒界を現出させる。

【0050】

その後、光学顕微鏡を用いて、継目無鋼管の外表面から肉厚の 1/4 位置が視野の中心となるように、5 視野について観察を行う。そして、ASTM E112 (2013) に規定される比較法により、各視野の旧オーステナイト結晶粒度を求め、その平均値を継目無鋼管の旧オーステナイト結晶粒度とする。この際、100 倍を基準の観察倍率とし、結晶粒度に応じて、200 倍または 400 倍とする。また、観察倍率を 200 倍または 400 倍とした場合には、下記 (I) 式で定義される補正值 Q を用い、ASTM E112 (2013) に準拠して補正を行う。

$$Q = 6.64 \log_{10} (M / 100) \quad \dots (I)$$

但し、上記式中の M は観察倍率である。

【0051】

なお、旧オーステナイト結晶粒度については、上記の (ii) 式を満足する限りにおいて特に制限されず、例えば、10.0 以上または 11.0 以上とすることができる。

【0052】

(B) 肉厚

本実施形態に係る継目無鋼管の肉厚については、上記の (i) 式を満足する限りにおいて特に制限されず、例えば、1.00 mm 以上または 1.50 mm 以上とすることができる。一方、軽量化の観点からは薄肉である方が好ましく、肉厚は 2.60 mm 以下であるのが好ましく、2.50 mm 未満であるのがより好ましく、2.40 mm 以下であるのがさらに好ましい。一般的に薄肉であるほど、縮径加工が困難となる。しかし、本発明においては、継目無鋼管の化学組成と肉厚とのバランスを調整することによって、薄肉である場合においても縮径加工性の確保が可能となる。

【0053】

(C) 特性

本実施形態に係る継目無鋼管は、高い強度を有し、具体的には、引張強さが 1000 MPa 以上である。引張強さが 1000 MPa 以上であれば、極めて短時間に大きな歪速度で応力が負荷されるエアバッグ用インフレーターボトルとして用いる場合においても、優れ

10

20

30

40

50

た耐バースト性を発揮する。

【0054】

なお、上述のように、強度を高くするためには焼入れ性を向上させる元素の含有量をより増加させる必要があり、その結果、縮径加工性が低下するリスクが増加する。縮径加工性を重視する場合は、引張強さは1200MPa未満であることが好ましい。

【0055】

また、本実施形態に係る継目無鋼管は、縮径加工性を確保するため、優れた延性を有し、具体的には、破断伸びが8.0%以上である。破断伸びは9.0%以上であるのが好ましく、10.0%以上であるのがより好ましい。

【0056】

引張強さおよび破断伸びは、JIS Z 2241:2011に準拠して測定する。具体的には、継目無鋼管から、一定長さの管状試験片を切り出し、JIS Z 2241:2011に準拠した11号試験片を作製する。そして、当該11号試験片を用い、JIS Z 2241:2011に規定される管状引張試験を実施することで、引張強さおよび破断伸びを測定する。

【0057】

さらに、本実施形態に係る継目無鋼管は、優れた耐水素脆化特性を有し、具体的には、限界水素濃度が2.5ppm以上である。これにより、エアバッグ用鋼管等として使用する際に、高い信頼性を確保することが可能となる。限界水素濃度は2.7ppm以上であるのがより好ましい。本実施形態において、限界水素濃度は、具体的には以下の方法により求める。

【0058】

継目無鋼管から、図1に示す形状の弧状引張試験片を複数採取する。当該弧状引張試験片は、継目無鋼管から、長さ120mm、幅9.0mm、厚さが鋼管の元肉厚dの弧状の試験片を切り出した後、長手方向における両端にそれぞれ把持部を残した状態で、長手方向における中央部に、減幅部を設け、さらに減幅部の長手方向における中央部にUノッチを設けることによって作製される。把持部は、それぞれ長さ45mm、幅9.0mmであり、減幅部の長さは30mm、幅2.0mmである。また、減幅部の両端は、曲率半径が5.0mmの曲面となり、把持部と接続されている。さらに、Uノッチは、ノッチ幅0.20mm、ノッチ深さ0.35mm、ノッチ底半径0.10mmである。

【0059】

続いて、複数の弧状引張試験片を3%NaClおよび0~30g/Lの範囲のチオシアン酸アンモニウムを含む種々の水溶液中に浸漬しながら、-0.9~-1.2Vの範囲の電位で陰極チャージ定荷重試験を行う。この際、各継目無鋼管の引張強さの90%の応力を負荷する。

【0060】

その後、耐久時間が200時間を超えた弧状引張試験片のみについて、液体窒素中で保管後、減幅部の平行部分を切断して水素濃度測定用試験片とし、昇温脱離水素分析法により水素濃度を測定する。昇温脱離水素分析法では、水素濃度測定用試験片を常温から100/時間の昇温速度で200まで加熱した後、放出された水素量を測定することによって、試験片中の水素濃度を求める。そして、得られた水素濃度のうち、最も高い値を、限界水素濃度とする。

【0061】

(D) エアバッグ用インフレーターボトル

本発明の一実施形態に係るエアバッグ用インフレーターボトルは、一方向に延びる円筒部と、円筒部の一方向における少なくとも一端側に形成された縮径部とを備える。縮径部は、円筒部の一方向における両端側に形成されていてもよい。

【0062】

本実施形態に係るエアバッグ用インフレーターボトルは、上述した継目無鋼管を所定の長さに切断した後、その一端側または両端側に縮径加工を施すことによって製造される。そ

10

20

30

40

50

のため、円筒部の化学組成、旧オーステナイト結晶粒度、肉厚、および特性については、素材となる継目無鋼管と同一である。したがって、説明は省略する。

【0063】

なお、縮径部に関しては、素材となる継目無鋼管に比べて、縮径加工に伴い、強度および肉厚が同等以上となる。すなわち、素材となる継目無鋼管において高い強度および優れた耐水素脆化特性が得られていれば、当該継目無鋼管から製造されたエアバッグ用インフレーターボトルについても、高い強度および優れた耐水素脆化特性が得られることとなる。

【0064】

(E) 製造方法

本発明の一実施形態に係る継目無鋼管は、以下の方法によって製造することができる。

10

【0065】

前記(A)項で述べた化学組成を有する鋼を、一般的な方法で溶製した後、鑄造によりインゴットまたは鑄片とする。なお、いわゆる「ラウンドCC」法によって、製管用の円形ビレット形状を有する鑄片にしてもよい。

【0066】

次の工程として、鑄造されたインゴットまたは鑄片に、分塊圧延または熱間鍛造を施す。該工程は、最終的な熱間製管(例えば、熱間での穿孔、圧延および延伸工程による製管、または熱間押し出しプレスによる製管)に用いる素材を得る工程である。なお、上記「ラウンドCC」法によって、円形ビレット形状とした鑄片は、直接それを用いて継目無鋼管に仕上げることができるので、必ずしも分塊圧延または熱間鍛造を施す必要はない。

20

【0067】

上記の分塊圧延または熱間鍛造で製造した、最終的な熱間製管に用いる素材、または円形ビレット形状とした鑄片(以下、これらをまとめて「鋼片」という。)に、熱間製管工程、冷間加工工程、焼入れ工程および焼戻し工程を順に施して、本実施形態の継目無鋼管が製造される。

【0068】

<熱間製管工程>

上述した鋼片を加熱した後、熱間製管を行って所定の形状を有する素管を製造する。熱間製管法については一般的な方法を用いればよく、例えば、マンドレル-マンネスマン法を採用してもよい。鋼片の加熱温度は、例えば、1000~1300 とすることができる。

30

【0069】

<冷間加工工程>

上記の方法によって得られた素管には、寸法精度の向上を目的として、冷間加工を施す。冷間加工方法としては、素管を均一に加工できる方法であれば、特に制限されなく、例えば、孔明きダイスとプラグとを用いるいわゆる冷間抽伸機またはコールドピルガーミルと称される冷間圧延機等を用いるのが工業的に有利である。

【0070】

<焼入れ工程>

冷間加工後の素管には、次に、900~1050 の温度に高周波加熱した後で急冷する高周波焼入れ処理が施される。加熱温度が900 未満であると、オーステナイト化が完了しないので、高い強度を具備させることができない場合がある。一方、加熱温度が1050 を超えると、オーステナイト粒が急激に成長することで粗大になり、優れた靱性を具備させることができなくなる。

40

【0071】

また、高周波加熱によって急速に加熱することでオーステナイト粒の成長を抑え、微細な金属組織が得られる。オーステナイト粒の成長を抑制する観点から、上記加熱温度での保持時間は、素管のサイズにもよるが10秒以下とすることが好ましい。なお、加熱温度は、素管の外表面における温度を指す。急冷には、十分な焼入れ組織が得られるのであれば、水冷または油冷など適宜の方法を用いればよい。

50

【 0 0 7 2 】

< 焼戻し工程 >

高周波焼入れした素管には、370～410 に加熱した後、室温まで冷却する、焼戻し処理が施される。焼戻しの加熱温度が370 未満であると、強度は確保できても、延性および低温靱性が低下する。特に、延性が低下した場合、上述した(i)式を満足していたとしても、十分な縮径加工性を確保することができない。一方、焼戻しの加熱温度が410 を超えると、優れた延性および低温靱性は得られても強度が低下して、1000 MPa以上の引張強さを得ることができなくなる。

【 0 0 7 3 】

上記加熱温度での保持時間は、素管のサイズにもよるが10～30分とすることが好ましい。この加熱温度は、素管の外表面における温度を指す。焼戻しの際の冷却速度については、特に制限がない。このため、大気中での放冷、強制風冷、ミスト冷却、油冷、水冷等、設備に応じた冷却を行えばよい。

10

【 0 0 7 4 】

また、優れた耐水素脆化特性を得るためには、上記の加熱温度まで昇温する前の段階において、予熱を行う必要がある。具体的には、250～350 の温度域における滞留時間が5分以上となるように予熱を行う。上述のように、予熱を行うことによって肉厚方向における温度分布が解消し、金属組織が均一になるためであると考えられる。

【 0 0 7 5 】

さらに上述したように、本実施形態に係るエアバッグ用インフレーターボトルは、上記の方法によって製造された継目無鋼管を所定の長さに切断した後、その一端側または両端側に縮径加工を施すことによって製造される。切断および縮径加工に関しては、公知の方法を用いればよい。

20

【 0 0 7 6 】

以下、実施例によって、本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【実施例】

【 0 0 7 7 】

表1-1および表1-2に示す化学組成を有する鋼を溶製し、転炉-連続鋳造プロセスにより、矩形ビレットを鋳造した。矩形ビレットは、さらに熱間鍛造により円形ビレットに成形し、室温まで冷却した。

30

【 0 0 7 8 】

40

50

【表 1 - 1】

表1-1

鋼種	化学組成 (質量%, 残部: Feおよび不純物)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb
A	0.15	0.21	0.55	0.008	0.002	0.30	0.31	0.75	0.31	0.007	0.007
B	0.16	0.22	0.95	0.018	0.014	0.32	0.30	0.77	0.32	0.009	0.020
C	0.15	0.24	0.85	0.023	0.002	0.30	0.31	0.75	0.32	0.009	0.091
D	0.15	0.24	1.47	0.007	0.002	0.31	0.32	0.85	0.12	0.009	0.012
E	0.14	0.24	0.51	0.007	0.002	0.31	0.32	0.70	0.30	0.009	0.022
F	0.12	0.26	0.57	0.005	0.002	0.34	0.37	0.60	0.35	0.024	0.021
G	0.12	0.34	1.10	0.008	0.018	0.30	0.30	0.55	0.33	0.007	0.079
H	0.11	0.08	0.61	0.007	0.001	0.17	0.19	0.46	0.27	0.044	0.022
I	0.10	0.15	0.55	0.006	0.012	0.30	0.33	0.17	0.40	0.009	0.020
J	0.12	0.47	0.57	0.004	0.004	0.33	0.30	0.70	0.30	0.009	0.021
K	0.16	0.14	0.49	0.005	0.005	0.35	0.34	0.86	0.38	0.004	0.017
L	0.14	0.25	0.67	0.010	0.010	0.28	0.25	0.58	0.22	0.004	0.056
M	0.12	0.22	0.65	0.009	0.005	0.25	0.20	0.79	0.35	0.008	0.046
N	0.15	0.25	0.51	0.009	0.002	0.26	0.25	0.31	0.01	0.024	0.025
O	0.11	0.29	1.05	0.008	0.003	0.01	0.01	0.30	0.01	0.026	0.024
P	0.12	0.23	0.46	0.006	0.005	0.25	0.21	0.21	0.01	0.015	0.020
Q	0.13	0.24	0.49	0.006	0.004	0.26	0.30	0.27	0.02	0.011	0.015
R	0.10	0.29	1.00	0.008	0.003	0.02	0.02	0.29	0.01	0.026	0.024
S	0.10	0.29	0.90	0.008	0.003	0.01	0.01	0.24	0.01	0.026	0.024
T	0.13	0.24	0.65	0.006	0.004	0.26	0.30	0.25	0.01	0.011	0.015
U	0.09	0.29	1.05	0.008	0.003	0.02	0.02	0.30	0.01	0.026	0.024
V	0.08	0.23	1.10	0.010	0.007	0.01	0.01	0.20	0.01	0.020	0.020
W	0.17	0.24	0.95	0.006	0.004	0.40	0.41	0.45	0.44	0.011	0.012
X	0.16	0.20	0.90	0.006	0.004	0.25	0.26	0.40	0.39	0.022	0.010
Y	0.16	0.29	1.00	0.002	0.002	0.04	0.35	0.49	0.35	0.012	0.030
Z	0.11	0.15	0.94	0.005	0.003	0.35	0.18	0.90	0.30	0.005	0.020
AA	0.18	0.20	1.04	0.009	0.008	0.40	0.36	1.12	0.48	0.009	0.029
AB	0.15	0.11	0.95	0.015	0.011	0.29	0.10	1.05	0.46	0.025	0.035
AC	0.18	0.32	0.85	0.020	0.015	0.10	0.20	0.90	0.55	0.035	0.080
AD	0.14	0.20	0.71	0.022	0.007	0.21	0.21	0.32	0.20	0.015	0.020
AE	0.13	0.24	0.70	0.023	0.006	0.19	0.15	0.27	0.23	0.011	0.021
AF	0.15	0.19	0.81	0.020	0.012	0.15	0.25	0.35	0.22	0.015	0.020
AG	0.13	0.21	0.70	0.015	0.001	0.35	0.25	0.65	0.38	0.037	0.007
AH	0.14	0.30	0.85	0.018	0.008	0.20	0.21	0.24	0.02	0.021	0.012
AI	0.11	0.25	0.99	0.010	0.011	0.10	0.25	0.85	0.12	0.033	0.005
AJ	0.10	0.35	1.05	0.021	0.004	0.25	0.30	0.55	0.25	0.014	0.011
AK	0.14	0.28	0.60	0.011	0.008	0.40	0.35	0.81	0.27	0.009	0.010
AL	0.13	0.27	0.55	0.017	0.015	0.36	0.30	0.67	0.22	0.018	0.020
AM	0.16	0.14	1.05	0.005	0.005	0.15	0.14	0.74	0.25	0.004	0.004
AN	0.13	0.22	0.41	0.010	0.009	0.30	0.25	0.22	0.05	0.025	0.044
AO	0.10	0.34	1.00	0.018	0.015	0.01	0.02	0.35	0.02	0.009	0.008
AP	0.09	0.20	1.10	0.007	0.008	0.02	0.01	0.22	0.01	0.015	0.041
AQ	0.16	0.23	0.50	0.010	0.008	0.31	0.32	0.76	0.30	0.009	0.010
AR	0.15	0.24	0.55	0.011	0.008	0.28	0.30	0.73	0.30	0.008	0.011

10

20

30

40

【 0 0 7 9 】

50

【表 1 - 2】

表1-2

鋼種	化学組成 (質量%, 残部: Feおよび不純物)								
	Ca	Al	N	V	B	Mg	REM	Sn	As
A	0.0018	0.036	0.0026	-	-	-	-	-	-
B	0.0015	0.036	0.0026	-	-	-	-	-	-
C	0.0015	0.036	0.0027	0.002	-	-	-	-	-
D	0.0018	0.032	0.0012	-	0.0010	-	-	-	-
E	0.0018	0.036	0.0030	0.040	0.0030	-	-	-	-
F	0.0017	0.030	0.0091	-	-	0.0010	0.0010	-	-
G	0.0010	0.031	0.0030	0.051	-	0.0024	0.0020	-	-
H	0.0018	0.036	0.0027	0.002	0.0047	0.0045	-	-	-
I	0.0015	0.035	0.0054	0.092	-	-	0.0046	-	-
J	0.0023	0.035	0.0025	-	-	-	-	-	-
K	0.0011	0.025	0.0014	0.005	-	-	-	0.001	0.002
L	0.0014	0.038	0.0010	-	0.0015	0.0044	-	-	0.004
M	0.0019	0.029	0.0025	-	-	-	-	0.038	0.003
N	0.0015	0.032	0.0039	-	0.0013	-	-	0.051	-
O	0.0012	0.031	0.0034	-	0.0012	-	-	0.049	-
P	0.0021	0.031	0.0052	-	0.0015	-	-	-	-
Q	0.0018	0.028	0.0050	-	0.0014	-	-	-	-
R	0.0012	0.031	0.0035	-	0.0012	-	-	-	-
S	0.0012	0.031	0.0035	-	0.0014	-	-	0.045	-
T	0.0018	0.028	0.0050	-	0.0014	-	-	-	-
U	0.0012	0.031	0.0035	-	0.0012	-	-	0.049	-
V	0.0008	0.020	0.0018	-	-	-	-	-	-
W	0.0018	0.028	0.0050	-	-	-	-	-	-
X	0.0022	0.020	0.0070	-	0.0011	-	-	-	-
Y	0.0011	0.025	0.0055	-	0.0017	-	-	0.004	0.002
Z	0.0011	0.022	0.0013	0.055	0.0010	-	-	-	-
AA	0.0021	0.035	0.0022	0.021	0.0014	-	-	-	-
AB	0.0008	0.038	0.0010	0.020	0.0010	-	-	-	-
AC	0.0015	0.040	0.0090	0.050	-	-	-	-	-
AD	0.0007	0.031	0.0011	-	-	-	-	-	-
AE	0.0006	0.034	0.0010	-	-	-	-	-	-
AF	0.0005	0.031	0.0010	-	-	-	-	-	-
AG	0.0015	0.020	0.0023	0.089	-	-	-	-	-
AH	0.0010	0.040	0.0021	-	-	-	-	-	-
AI	0.0040	0.020	0.0040	0.098	-	-	-	-	-
AJ	0.0011	0.034	0.0010	0.055	-	-	-	-	-
AK	0.0019	0.029	0.0016	0.051	-	-	-	-	-
AL	0.0011	0.033	0.0012	0.010	0.0014	0.0020	-	-	-
AM	0.0009	0.024	0.0075	0.002	-	0.0030	0.0020	-	-
AN	0.0021	0.020	0.0020	0.003	-	-	0.0022	-	0.005
AO	0.0024	0.015	0.0019	0.002	0.0017	-	-	-	-
AP	0.0010	0.025	0.0011	-	0.0011	-	-	-	-
AQ	0.0011	0.033	0.0012	-	-	-	-	-	-
AR	0.0019	0.029	0.0010	0.005	-	-	-	-	-

10

20

30

40

【0080】

上記の円形ピレットを加熱し、マンネスマン - マンドレル方式によって素管を作製し、室温まで冷却した。得られた素管に対して、表 2 に示す外径および肉厚となるよう、冷間抽伸機を用いて冷間加工を行った。続いて、表 2 に示す条件で焼入れおよび焼戻しを施して、継目無鋼管を製造した。表 2 における予熱時間は 250 ~ 350 の温度域における滞留時間を意味する。なお、焼入れは全て、高周波加熱してから水焼入れによって実施し、冷却速度が 150 / 秒となるよう調整した。また、焼戻しの際の冷却は全て大気中での放冷とした。

【0081】

50

【表 2】

表2

試験 番号	鋼種	鋼管寸法		焼入れ工程		焼戻し工程		
		外径 OD (mm)	肉厚 WT (mm)	加熱 温度 (°C)	保持 時間 (s)	予熱 時間 (min)	加熱 温度 (°C)	保持 時間 (min)
1	A	30.0	1.85	950	5	5	370	20
2	B	30.0	1.95	945	4	5	370	20
3	C	30.0	1.85	950	3	5	370	20
4	D	30.0	1.85	970	5	5	370	20
5	E	30.0	1.85	950	2	5	370	20
6	F	30.0	1.85	920	5	5	370	20
7	G	30.0	1.85	1000	3	5	390	20
8	H	30.0	1.85	930	2	7	400	20
9	I	30.0	1.85	980	3	7	410	20
10	J	30.0	1.85	1045	5	7	410	20
11	K	35.0	2.20	950	5	7	390	20
12	L	35.0	2.20	950	5	7	390	20
13	M	35.0	2.20	950	5	7	390	20
14	N	30.0	2.35	960	4	7	400	20
15	O	30.0	2.20	960	4	7	400	20
16	P	35.0	2.55	970	4	10	410	20
17	Q	25.0	2.00	950	4	10	410	20
18	R	30.0	2.05	970	4	10	410	20
19	S	20.0	1.90	950	4	12	380	20
20	T	25.0	1.85	970	4	12	380	20
21	U	35.0	2.38	970	4	10	410	20
22	V	25.0	2.00	960	5	7	380	20
23	W	20.0	1.50	970	5	7	400	20
24	X	20.0	1.50	970	3	7	400	20
25	Y	20.5	1.55	970	3	7	400	20
26	Z	20.5	1.55	970	3	7	370	20
27	AA	35.0	2.30	970	3	7	370	20
28	AB	35.0	2.20	970	3	7	370	20
29	AC	35.0	2.20	970	3	7	370	20
30	AD	30.0	1.85	950	5	7	370	20
31	AE	30.0	1.85	960	2	7	390	20
32	AF	30.0	1.85	950	5	7	370	20
33	AG	30.0	1.85	1020	5	7	370	20
34	AH	35.0	2.50	950	5	7	380	20
35	AI	35.0	2.50	950	5	7	380	20
36	AJ	35.0	2.50	950	5	7	380	20
37	AK	30.0	1.85	950	5	3	370	20
38	AL	30.0	1.85	950	5	1	370	20
39	AM	30.0	1.85	950	5	1	370	20
40	AN	35.0	2.55	950	5	3	400	20
41	AO	25.0	2.00	950	5	3	400	20
42	AP	30.0	2.05	950	5	1	400	20
43	AQ	30.0	1.85	950	5	5	350	20
44	AR	30.0	1.85	950	5	5	360	20

10

20

30

40

【 0 0 8 2 】

得られた各継目無鋼管について、まず、旧オーステナイト結晶粒度の測定を行った。旧オーステナイト結晶粒度は、ASTM E 112 (2013) に準拠して測定した。具体的には、継目無鋼管の縦断面が観察面となるように全肉厚を含む試験片を採取し、観察面の鏡面研磨を実施した。研磨後、ピクラル腐食液を用いて観察面内の旧オーステナイト結晶粒界を現出させた。その後、光学顕微鏡を用いて、継目無鋼管の外表面から肉厚の1/4位置が視野の中心となるように、5視野について観察を行った。そして、ASTM E 112 (2013) に規定される比較法により、各視野の旧オーステナイト結晶粒度を求め、その平均値を各継目無鋼管の旧オーステナイト結晶粒度とした。この際、100倍

50

を基準の観察倍率とし、結晶粒度に応じて、200倍または400倍とした。また、観察倍率を200倍または400倍とした場合には、下記(I)式で定義される補正值Qを用い、ASTM E112(2013)に準拠して補正を行った。

$$Q = 6.64 \log_{10} (M / 100) \quad \dots (I)$$

但し、上記式中のMは観察倍率である。

【0083】

次に、各継目無鋼管について、以下の方法により、機械的特性、縮径加工性および耐水素脆化特性の評価を行った。

【0084】

<機械的特性>

各継目無鋼管から、一定長さの管状試験片を切り出し、JIS Z 2241:2011に準拠した11号試験片を作製した。そして、当該11号試験片を用い、JIS Z 2241:2011に規定される管状引張試験を実施することで、引張強さTS、降伏応力YSおよび破断伸びELを測定した。

【0085】

<縮径加工性>

各継目無鋼管から、300mmの長さの管状試験片を2つずつ切り出した後、それぞれの管状試験片の一端側に対して、加工度が0.60および0.50となる条件で縮径加工を施し、長さ30mmの縮径部を形成した。ここで、縮径加工における加工度とは、縮径部の外径を、縮径加工前の継目無鋼管の外径で割った値である。その後、縮径部における割れの有無を観察した。

【0086】

そして、加工度0.60および0.50の両方の条件において割れが発生しなかった場合に、縮径加工性が極めて優れる(EX)と判定した。また、加工度0.50の条件では割れが発生したものの、加工度0.60の条件では割れが発生しなかった場合に、縮径加工性が優れる(G)と判定した。一方、加工度0.60および0.50の両方の条件において割れが発生した場合に、縮径加工性に劣る(NA)と判定した。

【0087】

<耐水素脆化特性>

各継目無鋼管から、図1に示す形状の弧状引張試験片を採取し、陰極チャージ定荷重試験を実施した。具体的には、把持部および減幅部を有する、複数の弧状引張試験片を3% NaClおよび0~30g/Lの範囲のチオシアン酸アンモニウムを含む種々の水溶液中に浸漬しながら、-0.9~-1.2Vの範囲の電位で陰極チャージ定荷重試験を行った。この際、各継目無鋼管の引張強さの90%の応力を負荷した。

【0088】

そして、耐久時間が200時間を越えた試験片のみについて、液体窒素中で保管後、減幅部の平行部分を切断し、昇温脱離水素分析法により水素濃度を測定した。昇温脱離水素分析法では、試験片を常温から100/時間の昇温速度で200まで加熱した後、放出された水素量を測定することによって、試験片中の水素濃度を求めた。得られた水素濃度のうち、最も高い値を、限界水素濃度(Hc)とし耐水素脆化特性の指標とした。本実施例においては、Hcが2.5ppm以上の場合に、耐水素脆化特性に優れると判断した。

【0089】

表3に、上記の各評価結果をまとめて示す。

【0090】

10

20

30

40

50

【表 3】

表3

試験 番号	鋼種	旧γ 結晶 粒度 GN	(i) 式 左辺値	(ii) 式 左辺値	機械的特性				評価結果		
					TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)	TS・EL (MPa・%)	縮径 加工性	限界 水素濃度 Hc (ppm)	
1	A	12.1	1.02	10.32	1281	1130	11.0	14091	G	3.1	本発明例
2	B	12.5	1.03	8.82	1285	1083	10.2	13107	G	2.9	
3	C	12.9	1.02	8.73	1275	1112	8.3	10583	G	2.7	
4	D	12.0	1.08	8.96	1265	1130	11.0	13915	G	2.6	
5	E	12.4	1.09	10.81	1272	1092	9.4	11957	G	3.0	
6	F	12.5	1.19	11.07	1265	1140	8.5	10753	G	3.1	
7	G	11.5	1.25	8.86	1255	1083	10.2	12801	G	2.8	
8	H	11.8	1.45	10.06	1247	1134	10.4	12969	G	3.0	
9	I	11.1	1.73	9.57	1225	1090	9.6	11760	G	3.0	
10	J	10.4	1.16	9.13	1257	1130	8.3	10433	G	2.8	
11	K	11.5	1.08	10.17	1241	1145	9.5	11790	G	3.1	
12	L	12.8	1.47	10.57	1235	1120	9.7	11980	G	2.8	
13	M	11.7	1.26	9.65	1256	1156	8.7	10927	G	2.9	
14	N	11.5	2.20	9.64	1067	933	13.2	14084	EX	3.1	
15	O	11.4	2.56	8.84	1081	956	10.8	11675	EX	2.8	
16	P	10.8	3.11	9.43	1127	1004	13.8	15553	EX	2.8	
17	Q	11.5	2.13	10.07	1008	920	12.8	12902	EX	2.9	
18	R	12.4	2.56	9.92	1120	980	11.0	12320	EX	2.9	
19	S	11.5	2.53	9.17	1005	950	12.4	12462	EX	3.2	
20	T	12.0	2.03	10.33	1058	870	13.9	14706	EX	3.0	
21	U	11.9	3.13	9.34	1154	956	11.8	13617	EX	2.9	
22	V	11.5	3.28	8.59	1059	945	10.5	11120	EX	2.5	
23	W	12.3	0.86	10.18	1003	916	13.1	13139	NA	3.1	
24	X	11.8	0.94	9.77	1050	899	12.2	12810	NA	3.0	
25	Y	10.4	0.95	8.68	1018	740	14.5	14761	NA	2.7	
26	Z	11.5	0.89	9.49	1210	1087	9.0	10890	NA	3.0	
27	AA	12.1	0.92	9.47	1270	1099	10.1	12827	NA	2.9	
28	AB	12.9	0.97	9.58	1255	1040	9.8	12299	NA	3.1	
29	AC	12.7	0.94	8.92	1231	1054	10.9	13418	NA	3.0	
30	AD	12.2	1.52	8.34	1221	1085	9.7	11844	G	2.3	
31	AE	12.4	1.61	8.42	1225	1087	10.4	12740	G	2.2	
32	AF	12.2	1.40	8.43	1237	1085	10.0	12370	G	2.4	
33	AG	11.1	1.10	8.19	1260	1112	8.7	10962	G	2.1	
34	AH	11.6	2.60	8.05	1020	940	13.0	13260	EX	2.2	
35	AI	11.0	1.64	8.40	1010	922	12.5	12625	EX	2.4	
36	AJ	12.0	1.92	7.77	1024	870	12.4	12698	EX	2.1	
37	AK	11.6	1.04	9.37	1240	1100	11.0	13640	EX	2.3	
38	AL	12.5	1.20	9.54	1212	1022	10.5	12726	EX	2.0	
39	AM	12.1	1.03	9.91	1255	1140	11.1	13931	EX	2.1	
40	AN	11.5	2.77	9.69	1026	952	13.0	13338	EX	2.2	
41	AO	12.5	2.30	8.79	1099	991	13.5	14837	EX	2.3	
42	AP	12.0	3.01	9.49	1140	1001	12.8	14592	EX	2.1	
43	AQ	12.5	0.99	10.51	1317	1218	7.6	10009	NA	2.7	
44	AR	12.1	1.04	9.94	1292	1215	7.8	10078	NA	3.1	

10

20

30

40

【 0 0 9 1 】

表 3 に示されるように、本発明の規定を全て満足する試験番号 1 ~ 2 2 では、高い引張強さと優れた縮径加工性を有し、さらに耐水素脆化特性に優れる結果となった。これらに対して、本発明の規定を満足しない比較例である試験番号 2 3 ~ 4 4 では、縮径加工性または耐水素脆化特性が劣化する結果となった。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 9 2 】

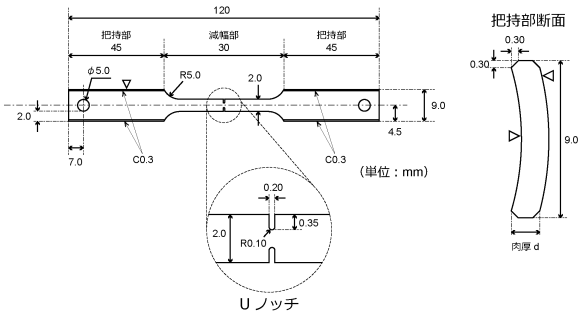
本発明によれば、高い強度と優れた縮径加工性を有し、さらに優れた耐水素脆化特性を備えた継目無鋼管を得ることが可能である。そのため、本発明に係る継目無鋼管は、エア

50

バッグ用インフレーターボトルの素材として好適である。

【図面】

【図 1】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2011/151908(WO,A1)
国際公開第2004/104255(WO,A1)
国際公開第2013/094116(WO,A1)
- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
- | | |
|------|-------|
| C22C | 38/00 |
| C22C | 38/54 |
| B60R | 21/26 |
| C21D | 8/10 |
| C21D | 9/08 |