(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2010 年 6 月 24 日(24.06.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/070949 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 37/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/063560

(22) 国際出願日: 2009 年 7 月 30 日(30.07.2009)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2008-322696 2008 年 12 月 18 日(18.12.2008) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社(**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.**) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 新井 貴(**ARAI, Takashi**) [JP/JP]; 〒8510392 長崎県長崎市深堀町五丁目７１７番１号 三菱重工業株式会社 長崎研究所内 Nagasaki (JP).

(74) 代理人: 藤田 考晴, 外(**FUJITA, Takaharu** et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい２－２－１ 横浜ランドマークタワー３７Ｆ Kanagawa (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

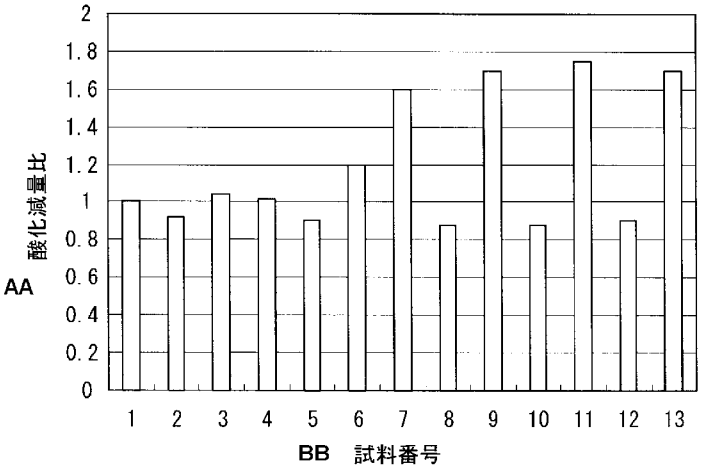
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON

(54) 発明の名称 : 球状黒鉛鋳鉄

[図2]



AA RATE OF REDUCTION IN AMOUNT BY OXIDATION
BB SAMPLE NUMBER

(57) **Abstract**: Disclosed is a spheroidal graphite cast iron having superior high-temperature strength and oxidation resistance at a temperature higher than 800°C compared with those of conventional high-SiMo spheroidal graphite cast iron materials. The spheroidal graphite cast iron comprises the following components (by mass): carbon: 2.0 to 4.0%, silicon: 3.5 to 5.0%, manganese: 1.0% or less, chromium: 0.1 to 1.0%, molybdenum: 0.2 to 2.0%, vanadium: 0.1 to 1.0% and magnesium: 0.02 to 0.1%, with the remainder being iron and unavoidable impurities.

(57) 要約: 従来の高ＳｉＭｏ球状黒鉛鋳鉄よりも、８００℃を超える温度において優れた高温強度及び耐酸化性を有する球状黒鉛鋳鉄を提供する。質量比で炭素：２．０～４．０％、シリコン：３．５～５．０％、マンガン：１．０％以下、クロム：０．１～１．０％、モリブデン：０．２～２．０％、バナジウム：０．１～１．０％、マグネシウム：０．０２～０．１％を含有し、残部が鉄及び不可避的不純物から構成される球状黒鉛鋳鉄。

WO 2010/070949 A1

明　細　書

発明の名称 ： 球状黒鉛鋳鉄

技術分野

[0001] 本発明は、高い高温強度と耐酸化性を有する球状黒鉛鋳鉄を提供する。

背景技術

[0002] 球状黒鉛鋳鉄は、高温強度と耐酸化性に優れ、乗用車や産業機械のディーゼル用ターボチャージャのタービンハウジング及びエキゾーストマニホールドなどに使用される。近年の環境規制に伴う燃費向上のため、エンジンの排気ガス温度が上昇する傾向にある。タービンハウジングやエキゾーストマニホールドは、排気ガスにより繰り返し高温に晒されるなど、急激な温度変化を受ける条件で使用されるため、高い高温強度と耐酸化性が要求される。

[0003] 従来のタービンハウジング用材料として高ＳｉＭｏ球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）が使用おり、使用限界温度は８００℃以下とされている。しかし、近年は、使用温度が８００℃を超えるタービンハウジングへの要求が高まってきている。

[0004] 高ＳｉＭｏ球状黒鉛鋳鉄に替わる高い高温強度及び耐酸化性を有するタービンハウジング用材料として、ニレジスト鋳鉄やステンレス鋳鋼がある。しかし、これらの材料は、原材料に多量のＮｉ及びＣｒを含むので、原材料コストが高いことが問題である。

[0005] そこで、球状黒鉛鋳鉄を合金設計により改良し、耐熱性などの高温性能の改良が行われている。例えば、特許文献１には、高ＳｉＭｏ鋳鉄にＶを添加したフェライト系球状黒鉛鋳鉄が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第３９３６８４９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、特許文献１の球状黒鉛鋳鉄は、８００℃を超える温度での高温強度を向上させることはできるものの、耐酸化性は不十分であった。

[0008] 本発明は、従来の高ＳｉＭｏ球状黒鉛鋳鉄よりも高温強度及び耐酸化性が向上し、延性に優れる球状黒鉛鋳鉄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

[0009] 上記課題を解決するために、本発明の球状黒鉛鋳鉄は、質量比で炭素：２．０～４．０%、シリコン：３．５～５．０%、マンガン：１．０%以下、クロム：０．１～１．０%、モリブデン：０．２～２．０%、バナジウム：０．１～１．０%、マグネシウム：０．０２～０．１%を含有し、残部が鉄及び不可避的不純物から構成される。

[0010] 本発明の球状黒鉛鋳鉄は、モリブデン含有量が最適化されているため、高い高温強度を有するとともに、優れた延性を有する。また、本発明の球状黒鉛鋳鉄は、クロムを含有し、クロム含有量が最適化されているため、耐酸化性及び延性に優れる。これにより、８００℃以上の温度領域でも使用することが可能である。また、ニレジスト鋳鉄やステンレス鋳鋼に比べ低価格で製造できる。

[0011] また、上記の球状黒鉛鋳鉄において、質量比でタングステン：０．１～１．０%を更に含有することが好ましい。あるいは、ニオブ：０．０２～０．３０%を更に含有することが好ましい。あるいは、タングステン：０．１～１．０%及びニオブ：０．０２～０．３０%を更に含有することが好ましい。

[0012] このように、タングステン、またはニオブ、またはタングステン及びニオブの両方の含有量が最適化されることにより、高温強度を更に向上させることができる。

[0013] 以下に、各成分の含有量の限定理由を説明する。

炭素（Ｃ）：鋳鉄においてはＣとＳｉは極めて重要な成分である。Ｃ含有量が２．０質量%以下では炭化物を生成しやすく、４．０質量%以上では黒鉛の偏析(カーボンドロス)を引き起こし、強度及び靭性が低下する。そのた

め、Ｃ含有量を２．０～４．０質量%とする。また、鋳鉄の鋳造性を表す指標として、炭素当量ＣＥ＝Ｃ%＋０．３１Ｓｉ%がある。一般的な球状黒鉛鋳鉄のＣＥ値は４．３～４．５である。４．３以下では欠陥が生じやすくなり、４．５以上ではカーボンドロスを引き起こす。本発明では、後述するようにＳｉ含有量を高く設定するため、好ましくはＣ含有量を２．７～３．２質量%の範囲とする。

[0014] シリコン（Ｓｉ）：Ｓｉは、Ｃの黒鉛化及び基地のフェライト化の効果がある。一般的な球状黒鉛鋳鉄のＳｉ含有量は２．５質量%程度である。本発明では、Ｓｉ含有量を３．５質量%以上とする。また、Ｓｉ含有量が多くなると鋳鉄の靭性が低下するため、上限を５．０質量%とする。耐酸化性を更に向上させるためには４．３%以上の添加が好ましいが、Ｓｉ含有量が多くなると鋳鉄の延性が低下し、ＣＥ値が大きくなり鋳造性が低下するため、好ましくは上限を４．７質量%とする。

[0015] マンガン（Ｍｎ）：Ｍｎは、材料の不可避的不純物であるＳをＭｎＳの形で固定し無害化するために必要な元素である。しかし、基地のパーライト組織形成元素であるため、Ｍｎ含有量の上限を１．０質量%とした。

[0016] モリブデン（Ｍｏ）：Ｍｏは基地中に固溶することで、高温における引張強さ及び耐力を向上させる元素である。本発明では、Ｍｏを０．２質量%以上添加する。また、耐熱性を更に向上させるために、０．４質量%以上の添加が特に好ましい。Ｍｏ含有量が多くなると、ＭｏとＣが結合して炭化物が生成し、硬さが上昇して延性が低下する。そこで、Ｍｏ含有量の上限を２．０質量%とした。切削性を損なわないために、好ましくは上限を１．０質量%とする。

[0017] バナジウム（Ｖ）：Ｖは基地中に微細な炭化物として析出することで、高温における引張強さ・耐力を向上させる元素である。本発明では、Ｖを０．１質量%以上添加する。Ｖ含有量が多くなると鋳鉄の延性を損なうため、上限を１．０質量%とする。また、Ｖは炭化物生成傾向が強いため、Ｃの球状化を妨げる元素である。そのため好ましくは上限を０．４質量%とする。

[0018] クロム（Ｃｒ）：Ｃｒは高温における耐酸化性を向上させる元素である。本発明では、Ｃｒを０．１質量%以上添加する。耐酸化性を更に向上させるために、０．２質量%以上の添加が特に好ましい。Ｃｒ含有量が多くなると鋳鉄の延性を損なうため、上限を１．０質量%とする。また、Ｃｒは炭化物生成傾向が強く、Ｃの球状化を妨げる元素であること、及び、基地中の炭化物サイズが粗大になることにより、好ましくは上限を０．４質量%とする。

[0019] マグネシウム（Ｍｇ）：Ｍｇは、黒鉛の球状化処理を目的として０．０２質量%以上添加する。しかし、Ｍｇの含有量が多くなると、炭化物の発生やドロス(酸化物の巻きこみ)欠陥が発生するため、上限を０．１質量%とする。

[0020] タングステン（Ｗ）：Ｗは、Ｍｏと同様に、基地中に固溶することで、高温における引張強さ及び耐力を向上させる元素である。本発明では、Ｗを０．１質量%以上添加する。更なる耐熱性向上のためには、０．２質量%以上の添加が好ましい。Ｗも炭化物生成傾向が強く、Ｃの球状化を妨げる元素であるため、上限を１．０質量%、好ましくは０．４質量%とする。

[0021] ニオブ（Ｎｂ）：Ｎｂは、基地中に微細な炭化物として析出することで、高温における引張強さ及び耐力を向上させる元素である。本発明では、Ｎｂを０．０２質量%以上添加する。Ｎｂ含有量が多くなると、鋳鉄の延性を損なうとともに、Ｎｂは炭化物生成傾向が強くＣの球状化を妨げる元素であること、及び、基地中の炭化物サイズが粗大になることにより、上限を０．３０質量%とする。強度向上効果が顕著に現れ、延性の低下を防止し、Ｃの球状化率が高まる好ましい添加範囲は、０．０４～０．２０質量%、より好ましい範囲は０．０５～０．１０質量%である。

[0022] 上記球状黒鉛鋳鉄において、黒鉛の球状化率が９０%以上であることが好ましい。黒鉛の球状化率を９０%で高温での引張強度や耐力を向上させることができる。

[0023] 上記の球状黒鉛鋳鉄を用いて製造されたタービンハウジング、エキゾーストマニホールド、及びタービンハウジング一体型エキゾーストマニホールド

は、高温強度と耐酸化性に優れ、８００℃以上の温度領域でも使用可能となる。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、上記組成とすることで、高温強度と耐酸化性に優れるとともに、優れた延性を有する球状黒鉛鋳鉄を、低コストで製造できる。

本発明の球状黒鉛鋳鉄を用いて作製されたタービンハウジング、エキゾーストマニホールド、及びタービンハウジング一体型エキゾーストマニホールドは、８００℃以上の高温であっても十分使用に耐え得るものとなる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１～１３の供試材の０．２%耐力比を表したグラフある。

[図2]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１～１３の供試材の酸化減量比を表したグラフある。

[図3]Ｍｏ含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示すグラフである。

[図4]Ｃｒ含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示すグラフである。

[図5]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、１４～１８の供試材の０．２%耐力比を表したグラフある。

[図6]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、１４～１８の供試材の酸化減量比を表したグラフある。

[図7]W含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示すグラフである。

[図8]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、１９～２２の供試材の０．２%耐力比を表したグラフある。

[図9]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、１９～２２の供試材の酸化減量比を表したグラフある。

[図10]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、２３～２６の

供試材の０．２%耐力比を表したグラフある。

[図11]試料番号１の供試材を基準とした場合の、試料番号１、２３～２６の供試材の酸化減量比を表したグラフある。

[図12]試料番号１，１５，２０，２４，３１～３４の供試材の引張強度比（試料番号１の供試材を基準）を表したグラフである。

発明を実施するための形態

[0026] 本発明の球状黒鉛鋳鉄を、実施例により具体的に説明する。

〔実施例１〕

表１に、試料番号１～１３のフェライト系球状黒鉛鋳鉄供試材の成分組成を示す。

[表1]

試料番号	組成（質量%）							
	C	Si	Mn	Mo	V	W	Cr	Mg
1	2.98	4.68	0.42	0.41	0.29	-	0.32	0.043
2	2.97	4.67	0.39	0.22	0.28	-	0.32	0.042
3	3.03	4.62	0.40	0.82	0.30	-	0.30	0.040
4	2.99	4.64	0.40	1.83	0.28	-	0.28	0.042
5	2.92	4.65	0.39	0.10	0.30	-	0.29	0.042
6	3.07	4.68	0.38	2.20	0.30	-	0.31	0.040
7	2.97	4.62	0.38	0.39	0.29	-	0.10	0.039
8	3.01	4.67	0.40	0.40	0.31	-	0.82	0.042
9	2.99	4.66	0.41	0.40	0.30	-	0.05	0.043
10	3.00	4.65	0.41	0.39	0.31	-	1.20	0.040
11	3.06	4.63	0.39	0.40	0.30	-	-	0.042
12	1.80	4.62	0.40	0.39	0.30	-	0.30	0.040
13	3.06	3.30	0.40	0.39	0.28	-	0.28	0.042

[0027] 表１の成分組成となるように原料を調合して溶融した後、ＪＩＳ Ｇ ５５０２に準じたＹ型Ｂ号の形状に鋳込み、試験番号１～１３の各供試材を作

製した。その後、各供試材を、９１５℃３時間の条件で熱処理を施し、フェライト化させた。

[0028] ＪＩＳ Ｇ ５５０２に記載の方法により、試料番号１～１３の供試材の球状化率を測定した。試料番号１～１１及び１３の供試材の球状化率は、それぞれ９０％以上であった。試料番号１２の供試材の球状化率は、５０％であった。

[0029] 試料番号１～１３のフェライト系球状黒鉛鋳鉄の供試材について、８００℃における０．２％耐力、耐酸化性、及び室温における破断伸びを測定した。

[0030] 耐酸化性は、酸化減量で評価した。

電気炉内に供試材を入れ、大気雰囲気中にて、８００℃で１００時間保持した。その後、１８％ＮａＯＨ＋３％$KMnO_4$溶液中にて供試材を煮沸した後、１０％クエン酸アンモニウム溶液中で煮沸し、供試材表面の酸化物を除去した。加熱前及び酸化物除去後の供試材の質量を測定し、式（１）により酸化減量を算出した。

$$W_d = (W_0 - W_s) / A_0 \quad \cdots (1)$$

ここで、W_dは酸化減量（ｍｇ／ｃｍ^2）、W_sは試験後の質量（ｍｇ）、W_0は試験前の質量（ｍｇ）、A_0は試験前の供試材の表面積（ｃｍ^2）である。

[0031] 図１に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の０．２％耐力比を示す。同図において、縦軸は０．２％耐力比である。図２に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の酸化減量比を示す。同図において、縦軸は酸化減量比である。図３に、Ｍｏ含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示す。同図において、横軸はＭｏ含有量、縦軸は破断伸び比である。図４に、Ｃｒ含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示す。同図において、横軸はＣｒ含有量、縦軸は破断伸び比である。

[0032] Ｍｏ含有量を変えた試料番号１～６の供試材では、図１に示すように、Ｍｏ含有量の増加に伴い、０．２％耐力が向上した。図２に示すように、酸化

減量は、Ｍｏ含有量に依らずほぼ一定となった。

しかし、図３に示すように、Ｍｏ含有量が増加するほど、破断伸び（延性）が低下した。

すなわち、Ｍｏ含有量を０．２～２．０質量%とすることにより、高い高温強度と優れた延性とを両立させた球状黒鉛鋳鉄とすることができた。

[0033] Ｃｒ含有量を変えた試料番号１及び７～１１の供試材では、図２に示すように、Ｃｒを含有させることで酸化減量を減少させることができ、Ｃｒ含有量が増加するほど、酸化減量を低下させる（耐酸化性を向上させる）ことができた。しかし、図４に示すように、Ｃｒ含有量が増加するほど、破断伸び（延性）が低下した。

すなわち、Ｃｒ含有量を０．１～１質量%とすることにより、優れた耐酸化性と優れた延性とを両立させた球状黒鉛鋳鉄とすることができた。

[0034] Ｃ含有量が少ない試料番号１２の供試材は、炭化物が形成され、炭素の球状化が妨げられたため、０．２%耐力が大幅に低下した。Ｓｉ含有量が少ない試料番号１３の供試材は、耐酸化性に劣っていた。

[0035] 〔実施例２〕

表２に、試料番号１，１４～１８のフェライト系球状黒鉛鋳鉄供試材の成分組成を示す。

[表2]

試料番号	化学成分(mass%)							
	C	Si	Mn	Mo	V	W	Cr	Mg
1	2.98	4.68	0.42	0.41	0.29	-	0.32	0.043
14	2.99	4.62	0.40	0.40	0.29	0.18	0.30	0.039
15	3.01	4.68	0.40	0.41	0.29	0.31	0.33	0.043
16	3.03	4.60	0.41	0.40	0.30	0.95	0.32	0.045
17	2.98	4.64	0.42	0.39	0.29	0.07	0.30	0.043
18	3.01	4.68	0.40	0.41	0.29	1.21	0.31	0.044

[0036] 実施例１と同様の方法により、試料番号１４～１８の供試材を作製し、フェライト化させた。ＪＩＳ　Ｇ　５５０２に記載の方法により、球状化率を

測定したところ、いずれの供試材も球状化率が９０％以上であることを確認した。

[0037] 試料番号１４～１８の供試材について、８００℃における０．２％耐力及び酸化減量を測定した。図５に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の０．２％耐力比を示す。同図において、縦軸は０．２％耐力比である。図６に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の酸化減量比を示す。同図において、縦軸は酸化減量比である。図７に、W含有量と供試材の破断伸び比（試料番号１の供試材を基準）との関係を示す。同図において、横軸はW含有量、縦軸は破断伸び比である。

[0038] 試験番号１，１４，１５，１７の結果から、W含有量が増加するほど、Wがフェライト基地に固溶して基地を強化することによって、０．２％耐力が向上することが確認された。しかし、試験番号１６，１８の結果から、多量のWを含有させても、高温強度の顕著な向上は認められなかった。なお、図６に示すように、酸化減量は、W含有量には依存せず、いずれの供試材も高い耐酸化性を有していた。また、図７に示すように、W含有量が増加するほど、破断伸び（延性）が低下した。

以上の結果から、W含有量を０．１～１質量%とすることにより、高温強度を更に向上させることができた。

[0039] 〔実施例３〕

表３に、試料番号１及び１９～２２のフェライト系球状黒鉛鋳鉄供試材の成分組成を示す。

[表3]

試料番号	化学成分(mass%)							
	C	Si	Mn	Mo	V	Nb	Cr	Mg
1	2.98	4.68	0.42	0.41	0.29	-	0.32	0.043
19	3.03	4.58	0.41	0.41	0.31	0.04	0.32	0.041
20	3.00	4.63	0.40	0.41	0.29	0.09	0.31	0.040
21	3.03	4.61	0.40	0.39	0.30	0.27	0.32	0.045
22	3.04	4.60	0.43	0.39	0.30	0.35	0.31	0.041

[0040] 実施例１と同様の方法により、試料番号１９～２２の成分組成の供試材を作製した。１２００℃、１時間の均質化熱処理を実施した後、９１５℃、３

時間の条件で熱処理を施し、フェライト化させた。ＪＩＳ　Ｇ　５５０２に記載の方法により、球状化率を測定したところ、各供試材の球状化率が９０%以上であることを確認した。その後、８００℃における０．２%耐力及び酸化減量を測定した。

[0041] 図８に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の０．２%耐力比を示す。同図において、縦軸は０．２%耐力比である。図９に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の、各供試材の酸化減量比を示す。同図において、縦軸は酸化減量比である。

[0042] 試験番号１９，２０の結果から、Ｎｂ含有量が増加するほど、Ｎｂがフェライト基地に固溶して基地を強化するために、０．２%耐力が向上することが確認された。しかし、試験番号２１，２２の結果から、Ｎｂ含有量が更に増加すると、逆に０．２%耐力が低下する傾向があった。特に試料番号２２は、Ｎｂを含有しない試料番号１よりも０．２%耐力が低かった。なお、図９に示すように、酸化減量は、Ｎｂ含有量に依らずほぼ一定となった。

すなわち、Ｎｂ含有量を０．０２～０．３質量%とすることにより、高温強度を更に向上させることができた。

[0043] 〔実施例４〕

表４に、試料番号１及び２３～２６のフェライト系球状黒鉛鋳鉄供試材の成分組成を示す。

[表4]

試料番号	化学成分(mass%)								
	C	Si	Mn	Mo	V	W	Nb	Cr	Mg
1	2.98	4.68	0.42	0.41	0.29	-	-	0.32	0.043
23	3.02	4.64	0.40	0.42	0.30	0.30	0.04	0.34	0.043
24	3.01	4.67	0.39	0.41	0.29	0.32	0.08	0.35	0.041
25	2.98	4.68	0.41	0.40	0.29	0.31	0.26	0.33	0.044
26	3.01	4.68	0.41	0.41	0.31	0.31	0.35	0.34	0.040

[0044] 実施例１と同様の方法により、試料番号２３～２６の成分組成の供試材を作製した。その後、実施例３と同様の均質化熱処理を実施した後、フェライト化させた。ＪＩＳ　Ｇ　５５０２に記載の方法により、球状化率を測定したところ、各供試材の球状化率が９０％以上であることを確認した。その後、８００℃における０．２％耐力及び酸化減量を測定した。

[0045] 図１０に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の各供試材の０．２％耐力比を示す。同図において、縦軸は０．２％耐力比である。図１１に、試料番号１の球状黒鉛鋳鉄供試材を基準とした場合の各供試材の酸化減量比を示す。同図において、縦軸は酸化減量比である。

[0046] 試料番号１，２３，２４の結果から、Ｎｂ含有量が増加するほど、０．２％耐力が向上した。特に、試料番号２４は、Ｎｂ及びWのいずれか一方を添加した供試材よりも、高い０．２％耐力を示した。Ｎｂ含有量を更に増加させた試料番号２５及び２６の供試材では、逆に０．２％耐力が低下した。試料番号２６の供試材では、Ｎｂ及びWを添加しない試料番号１の供試材に比べて、０．２％耐力が低下した。なお、図１１に示すように、酸化減量は、Ｎｂ含有量に依らずほぼ一定となった。

このように、W及びＮｂの両方を含有させることにより、高温強度を向上させることができた。

[0047] 〔実施例５〕

試料番号１，１５，２０，２４の成分組成に対して、それぞれＭｇ含有量を減少させ、試料番号３１～３４の供試材とした。表５に各供試材の成分組成を示す。

[表5]

試料番号	化学成分(mass%)								球状化率(%)
	C	Si	Mn	Mo	V	W	Nb	Cr	Mg	
1	2.98	4.68	0.42	0.41	0.29	-	-	0.32	0.043	>90
15	3.01	4.68	0.40	0.41	0.29	0.31	-	0.33	0.043	>90
20	3.00	4.63	0.40	0.41	0.29	-	0.09	0.31	0.040	>90
24	3.01	4.67	0.39	0.41	0.29	0.32	0.08	0.35	0.041	>90
31	3.03	4.60	0.40	0.39	0.30	-	-	0.29	0.020	51
32	2.98	4.64	0.40	0.39	0.31	0.29	-	0.30	0.023	45
33	3.02	4.69	0.40	0.39	0.31	-	0.09	0.31	0.023	43
34	2.95	4.61	0.39	0.41	0.30	0.30	0.08	0.31	0.021	40

[0048] 実施例３と同様にして、表５に示す各成分組成の供試材を作製し、均質化熱処理を実施した後、フェライト化させた。ＪＩＳ　Ｇ　５５０２に記載の方法により、各供試材の球状化率を測定した。各供試材の８００℃における引張強度を測定した。

[0049] 図１２に、試料番号１の供試材を基準とした場合の各供試材の引張強度比を示す。同図において、縦軸は引張強度比である。Ｍｇ含有量を減少させると、球状化率が低下した。これに伴い、８００℃における引張強度も低下した。

このように、球状化率を９０％以上とすることにより、高温強度を向上させることができた。

請求の範囲

[請求項1] 質量比で炭素：２．０～４．０%、シリコン：３．５～５．０%、マンガン：１．０%以下、クロム：０．１～１．０%、モリブデン：０．２～２．０%、バナジウム：０．１～１．０%、マグネシウム：０．０２～０．１%を含有し、残部が鉄及び不可避的不純物から構成される球状黒鉛鋳鉄。

[請求項2] 質量比でタングステン：０．１～１．０%を更に含有する請求項１に記載の球状黒鉛鋳鉄。

[請求項3] 質量比でニオブ：０．０２～０．３０%を更に含有する請求項１に記載の球状黒鉛鋳鉄。

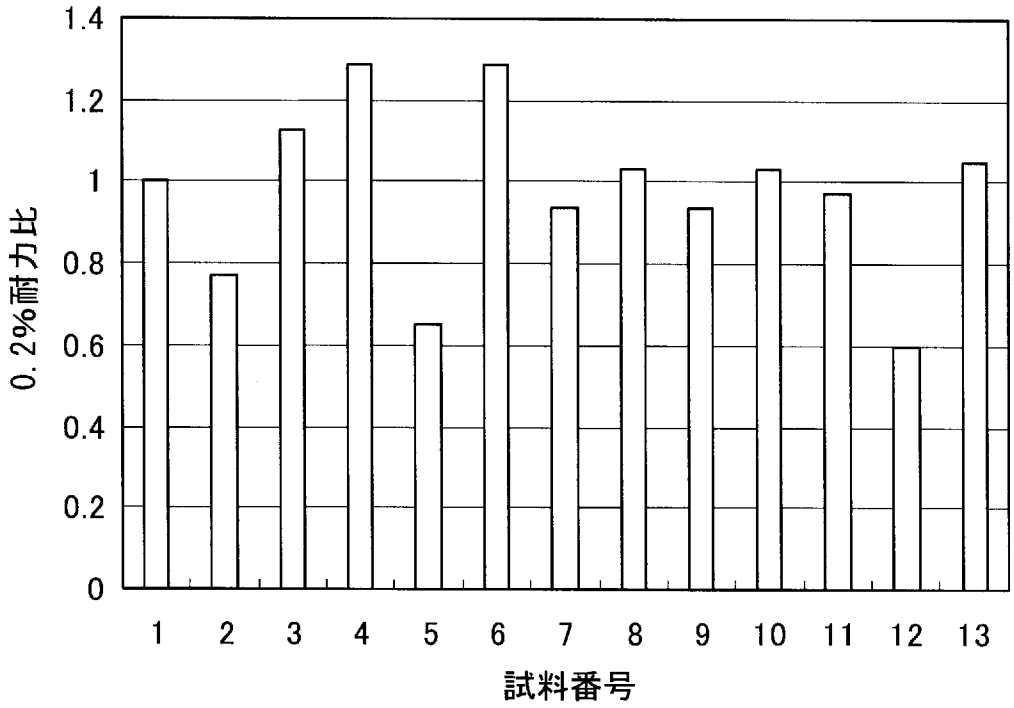
[請求項4] 質量比でタングステン：０．１～１．０%及びニオブ：０．０２～０．３０%を更に含有する請求項１に記載の球状黒鉛鋳鉄。

[請求項5] 黒鉛の球状化率が９０%以上であることを特徴とする請求項１乃至請求項４のいずれか１項に記載の球状黒鉛鋳鉄。

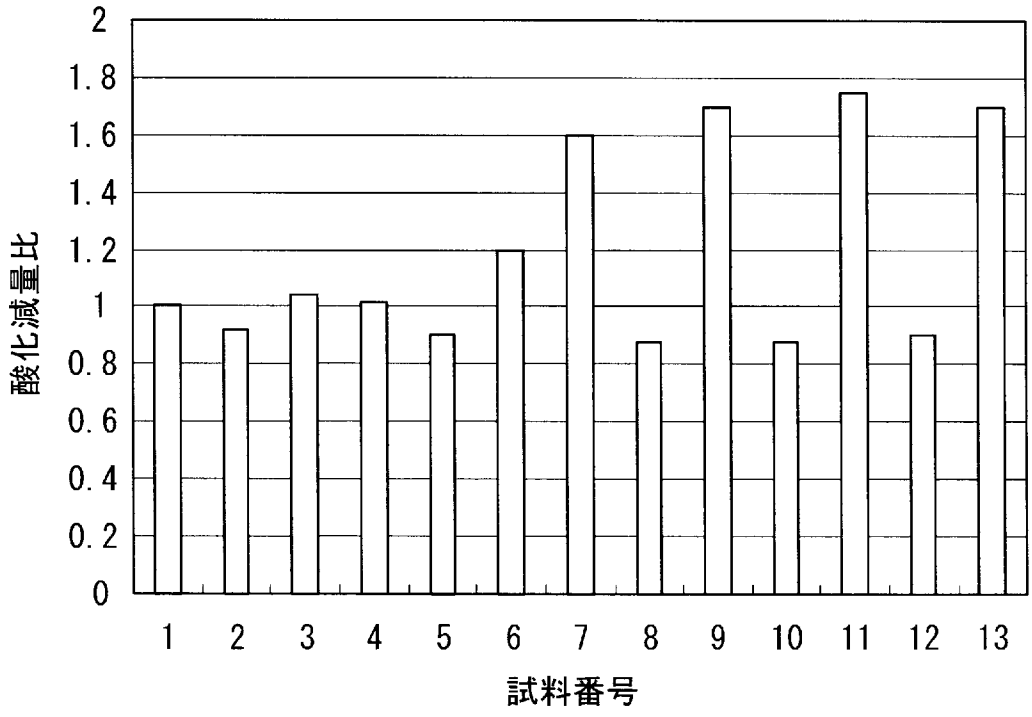
[請求項6] 請求項１乃至請求項５のいずれか１項に記載の球状黒鉛鋳鉄を用いて製造された排気系部品。

[請求項7] 前記排気系部品が、タービンハウジング、エキゾーストマニホールド、またはタービンハウジング一体型エキゾーストマニホールドである請求項６に記載の排気系部品。

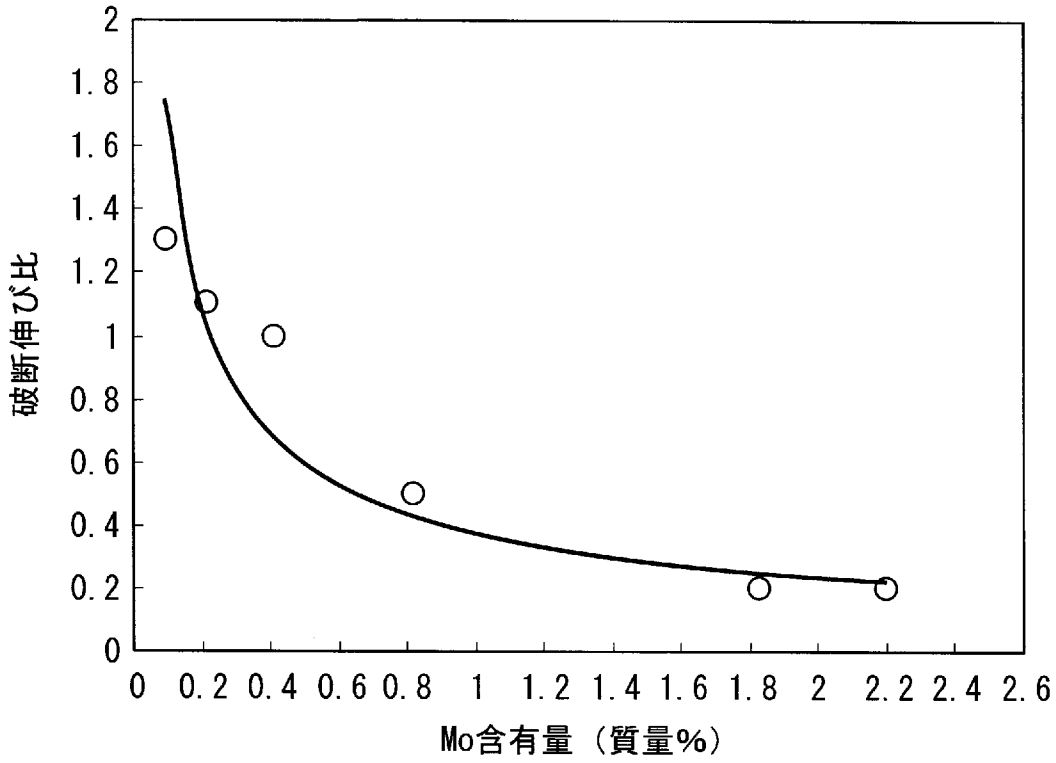
[図1]


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.2%耐力比
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
試料番号

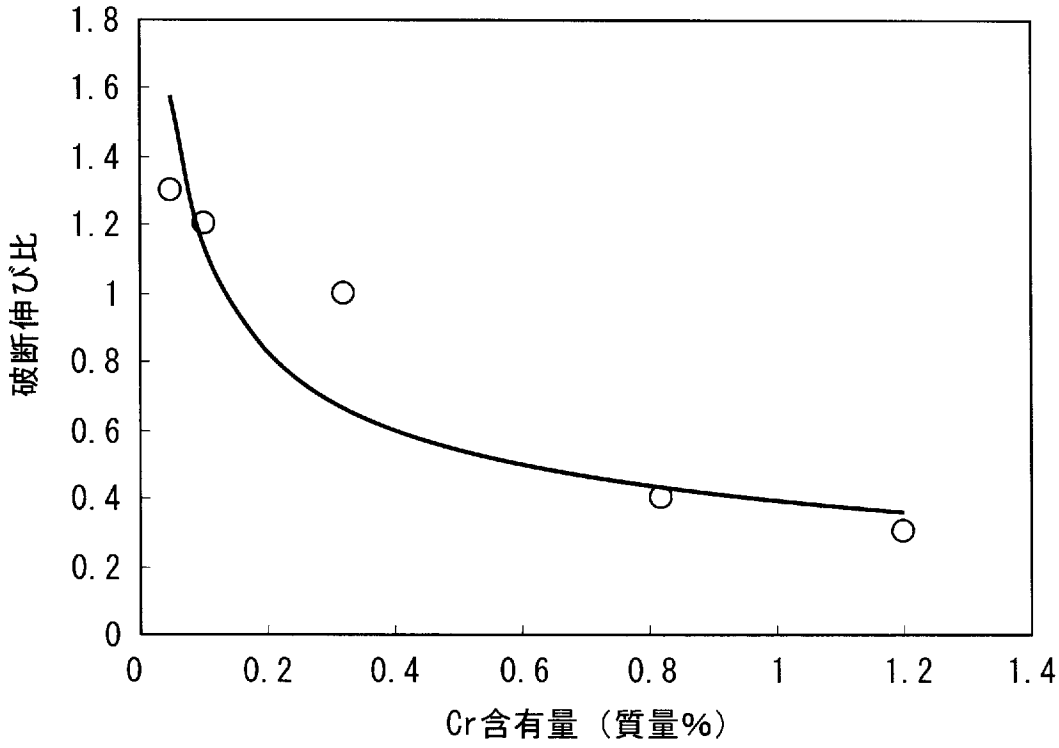
[図2]


2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
酸化減量比
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
試料番号

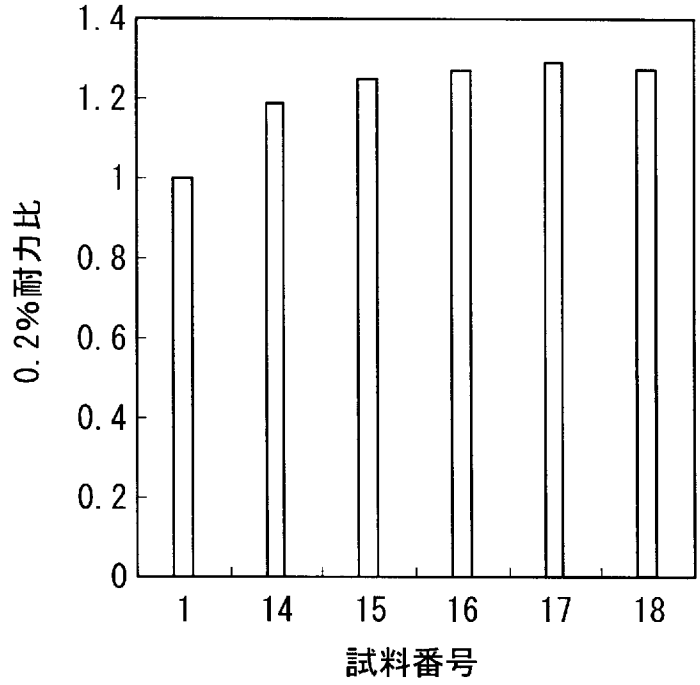
[図3]


破断伸び比
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2 2.2 2.4 2.6
Mo含有量（質量%）

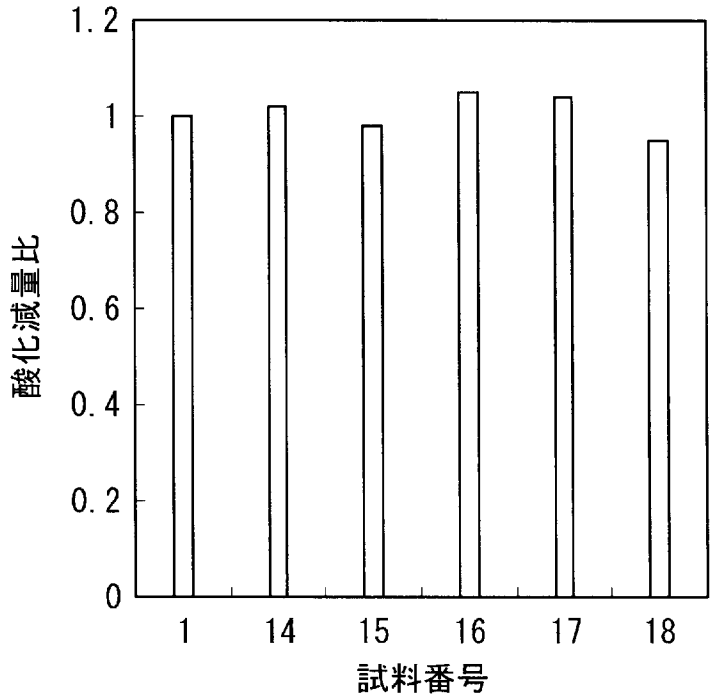
[図4]


破断伸び比
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4
Cr含有量（質量%）

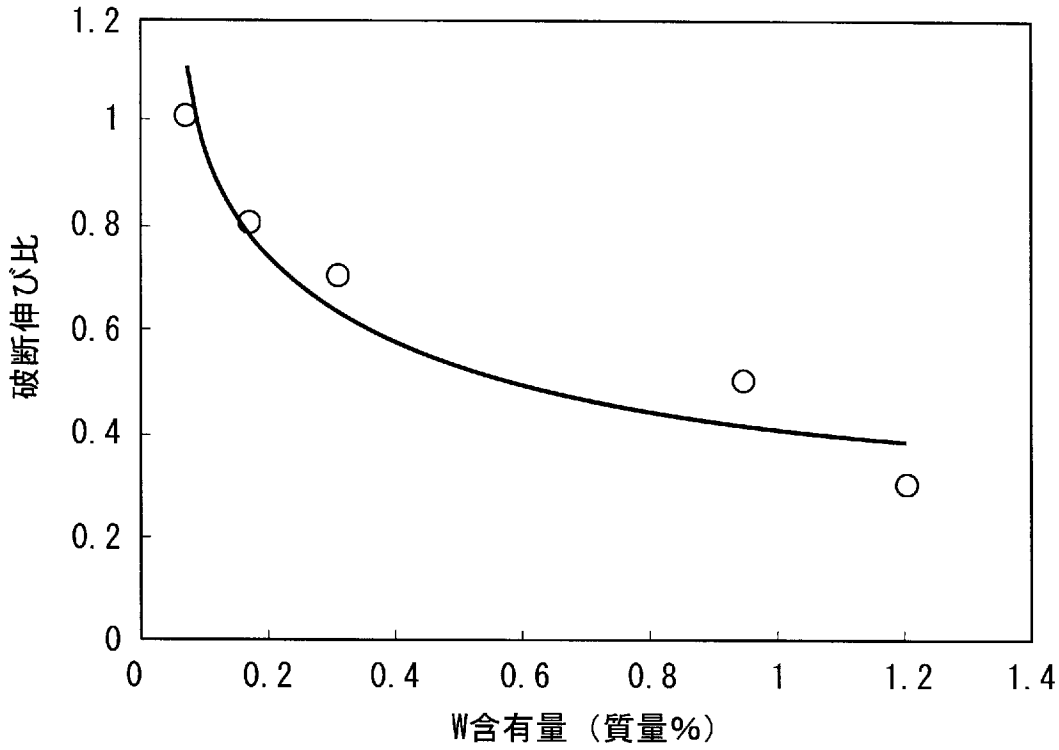
[図5]


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.2%耐力比
1
14
15
16
17
18
試料番号

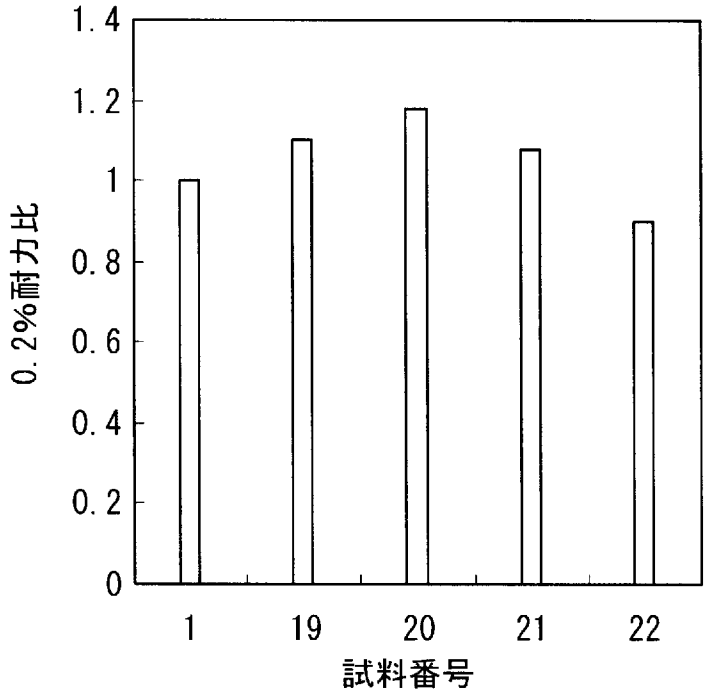
[図6]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
酸化減量比
1
14
15
16
17
18
試料番号

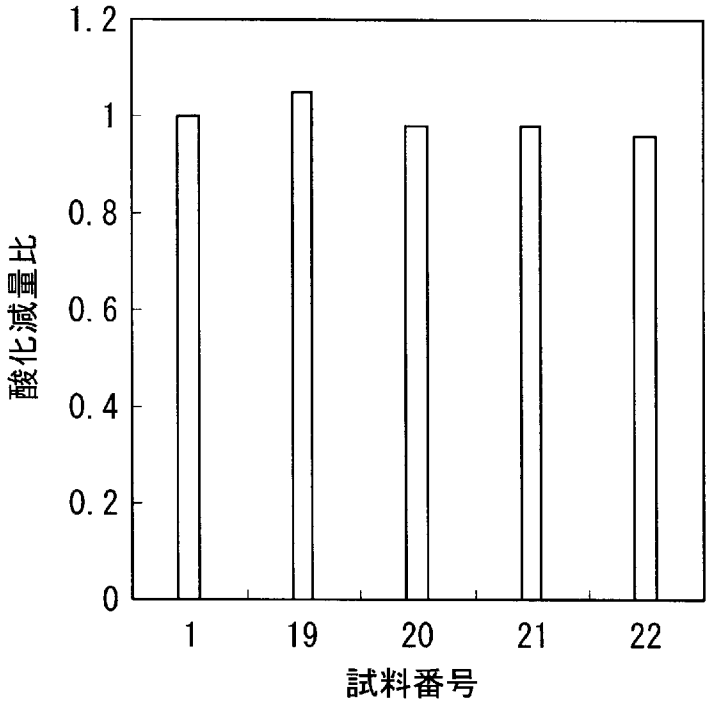
[図7]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
破断伸び比
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
W含有量（質量%）

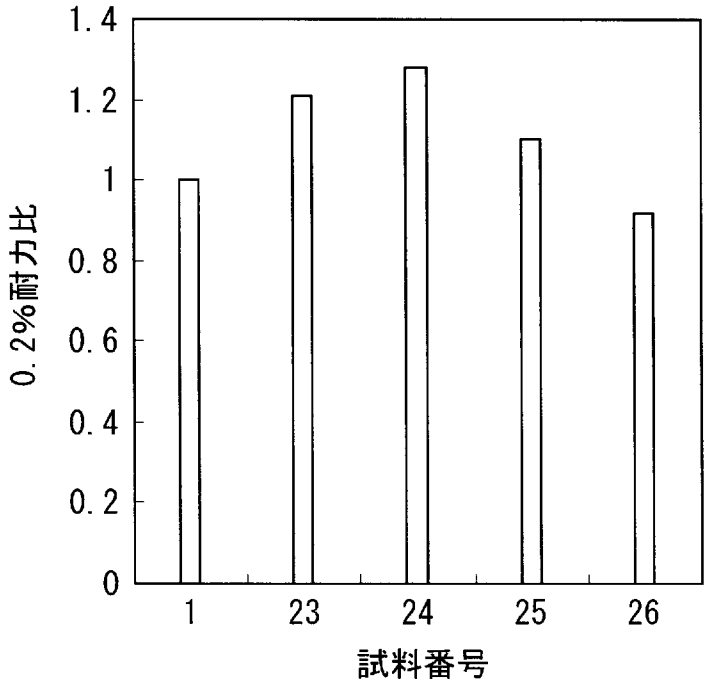
[図8]


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.2%耐力比
1
19
20
21
22
試料番号

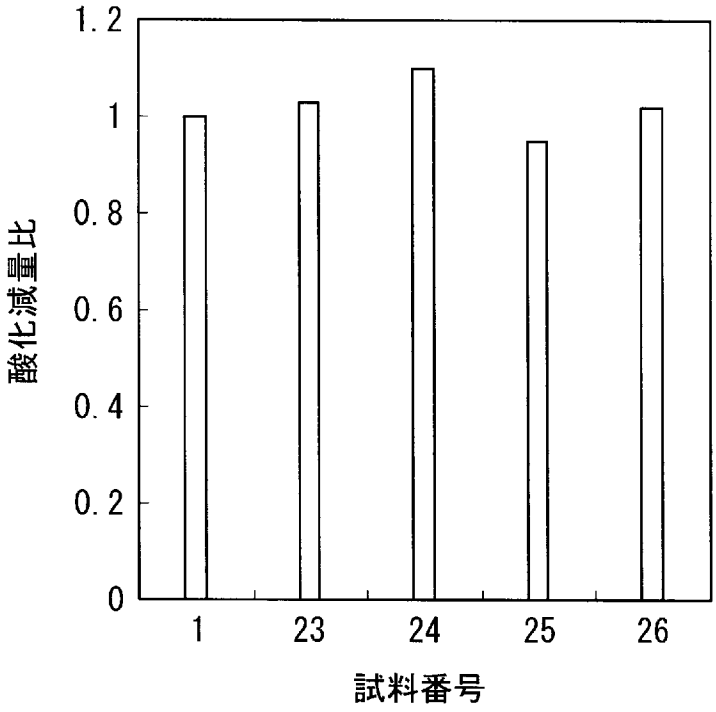
[図9]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
酸化減量比
1
19
20
21
22
試料番号

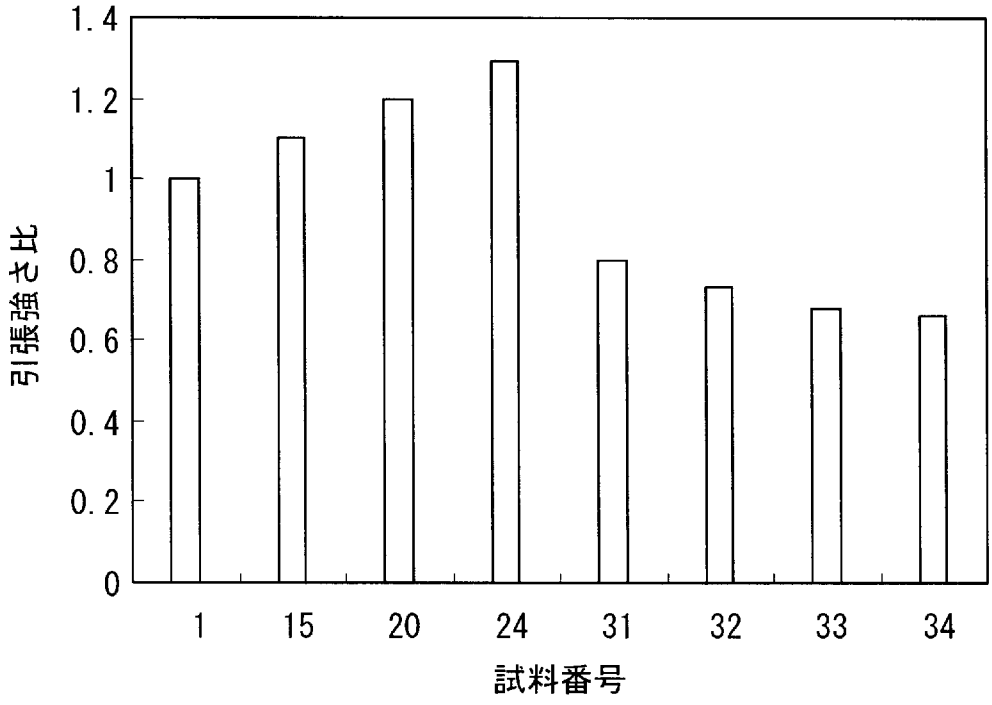
[図10]


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.2%耐力比
1
23
24
25
26
試料番号

[図11]


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
酸化減量比
1
23
24
25
26
試料番号

[図12]


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
引張強さ比
1
15
20
24
31
32
33
34
試料番号

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/063560

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C37/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C22C37/00-37/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/085488 A1 (Hitachi Metals, Ltd.), 15 September 2005 (15.09.2005), claims; paragraphs [0045] to [0064]; table 1 & EP 1724370 A1 & US 2008/0308193 A1	1-7
A	JP 2002-339033 A (Suzuki Motor Corp.), 27 November 2002 (27.11.2002), claims; paragraph [0011] & US 2004/0091383 A1	1-7
A	JP 10-195587 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 28 July 1998 (28.07.1998), claims; paragraphs [0023] to [0028] (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
15 October, 2009 (15.10.09)	27 October, 2009 (27.10.09)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/063560

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 63-100154 A (Toyota Motor Corp.), 02 May 1988 (02.05.1988), claims (Family: none)	1-7
A	JP 63-024041 A (Toyota Motor Corp.), 01 February 1988 (01.02.1988), claims (Family: none)	1-7
A	JP 2004-360071 A (HYUNDAI MOTOR Co.), 24 December 2004 (24.12.2004), claims & US 2004/0223866 A1	1-7
A	JP 58-171553 A (Toyo Kogyo Co., Ltd.), 08 October 1983 (08.10.1983), claims & US 4450019 A	1-7
A	JP 63-072850 A (Toyota Motor Corp.), 02 April 1988 (02.04.1988), claims (Family: none)	1-7
A	JP 62-142745 A (Toyota Motor Corp.), 26 June 1987 (26.06.1987), claims (Family: none)	1-7
A	JP 58-058248 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 06 April 1983 (06.04.1983), claims & EP 0076701 A2	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００９／０６３５６０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C37/04(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C37/00-37/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００９年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	WO 2005/085488 A1（日立金属株式会社）2005.09.15，請求の範囲，［００４５］－［００６４］，表１ & EP 1724370 A1 & US 2008/0308193 A1	１－７
A	JP 2002-339033 A（スズキ株式会社）2002.11.27，特許請求の範囲，［００１１］ & US 2004/0091383 A1	１－７
A	JP 10-195587 A（株式会社豊田中央研究所）1998.07.28，特許請求の範囲，［００２３］－［００２８］（ファミリーなし）	１－７

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １５．１０．２００９	国際調査報告の発送日 ２７．１０．２００９
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｋ　９１５４ 鈴木　毅 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４３５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 63-100154 A (トヨタ自動車株式会社) 1988.05.02, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	１－７
A	JP 63-024041 A (トヨタ自動車株式会社) 1988.02.01, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	１－７
A	JP 2004-360071 A (現代自動車株式会社) 2004.12.24, 特許請求の範囲 & US 2004/0223866 A1	１－７
A	JP 58-171553 A (東洋工業株式会社) 1983.10.08, 特許請求の範囲 & US 4450019 A	１－７
A	JP 63-072850 A (トヨタ自動車株式会社) 1988.04.02, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	１－７
A	JP 62-142745 A (トヨタ自動車株式会社) 1987.06.26, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	１－７
A	JP 58-058248 A (日産自動車株式会社) 1983.04.06, 特許請求の範囲 & EP 0076701 A2	１－７