

(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2010-77488
(P2010-77488A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(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 E O 8 7
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60	
C 2 2 C 38/24 (2006.01)	C 2 2 C 38/24	
B 2 1 J 5/00 (2006.01)	B 2 1 J 5/00 A	
B 2 1 K 1/14 (2006.01)	B 2 1 K 1/14 Z	
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)		

(21) 出願番号	特願2008-246661 (P2008-246661)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成20年9月25日 (2008.9.25)		新日本製鐵株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74) 代理人	100105441
			弁理士 田中 久喬
		(74) 代理人	100107892
			弁理士 内藤 俊太
		(72) 発明者	寺本 真也
			東京都千代田区大手町二丁目6番3号 新
			日本製鐵株式会社内
		(72) 発明者	高田 啓督
			東京都千代田区大手町二丁目6番3号 新
			日本製鐵株式会社内
		最終頁に続く	

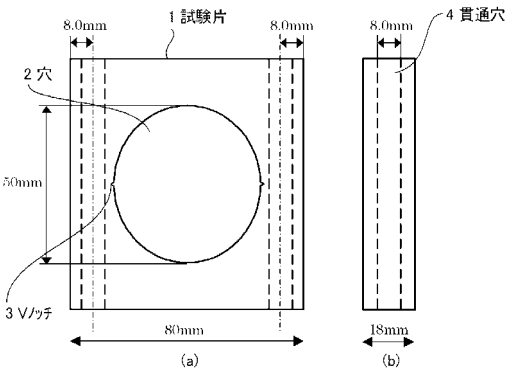
(54) 【発明の名称】 高強度破断分割用非調質鋼および破断分割用鋼部品

(57) 【要約】

【課題】熱間延性に優れ、熱間鍛造後に空冷または風冷した場合に安定して完全なフェライト・パーライト組織となる、破断分割性に優れた高強度非調質鋼および破断分割用鋼部品を提供する。

【解決手段】質量%で、C：0.30%～0.45%、Si：0.50%～0.80%未満、Mn：0.76%～1.17%、P：0.040%～0.080%、S：0.040%～0.118%、Cr：0.05～0.20%以下、Al：0.010%以下、V：0.27%～0.45%、N：0.0050%～0.0145%を含有し、残部Feと不可避免的不純物からなり、熱間延性を確保し、熱間鍛造後、空冷または風冷した場合に、フェライト分率60%以上のフェライト・パーライト組織にせしめる三つの成分組成制約式を満足する高強度破断分割用非調質鋼および破断分割用鋼部品。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 % で、

C : 0 . 3 0 % ~ 0 . 4 5 %、

Si : 0 . 5 0 % ~ 0 . 8 0 % 未満、

Mn : 0 . 7 6 % ~ 1 . 1 7 %、

P : 0 . 0 4 0 % ~ 0 . 0 8 0 %、

S : 0 . 0 4 0 % ~ 0 . 1 1 8 %、

Cr : 0 . 0 5 ~ 0 . 2 0 %、

Al : 0 . 0 1 0 % 以下、

V : 0 . 2 7 % ~ 0 . 4 5 %、

N : 0 . 0 0 5 0 % ~ 0 . 0 1 4 5 %

を含有し、残部 Fe と不可避的不純物からなり、

下記 (1) 式で定義する K 値が 1 . 3 以下、下記 (2) 式で定義する F 値が 3 . 0 以下、および下記 (3) 式で定義する R 値が 3 5 以上であることを特徴とする高強度破断分割用非調質鋼。

$$K = - 0 . 5 6 \times \% C - 0 . 0 7 \times \% Si + 1 . 3 \times \% Mn + 0 . 8 0 \times \% Cr \\ - 1 . 8 0 \times \% P + 0 . 1 9 \% V - 5 . 6 \times \% N \quad \cdots (1)$$

$$F = 4 . 3 \times \% C - 0 . 2 1 \times \% Si + 1 . 0 \times \% Mn + 1 . 4 \times \% Cr \\ - 1 . 9 0 \times \% P + 1 . 8 \% V - 6 . 6 \times \% N \quad \cdots (2)$$

$$R = 4 6 . 7 - 7 . 4 \times \% Si + 3 7 . 7 \times \% Mn - 3 4 9 \times \% S - 1 2 . 0 \times \% V \\ - 1 7 4 \times \% Al \quad \cdots (3)$$

ここで、式中、% C、% Si、% Mn、% Cr、% P、% V、% N 及び % S は、鋼中の含有量 (質量 %) であり、% Al は、不純物としての含有量 (質量 %) である。

【請求項 2】

さらに、質量 % で、

Ca : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 3 0 %、

Zr : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 3 0 %、

Te : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 0 3 0 %、

及び Ti : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 5 0 %

の内のいずれか 1 種もしくは 2 種以上を含有することを特徴とする請求項 1 記載の高強度破断分割用非調質鋼。

【請求項 3】

さらに、質量 % で、Pb : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 0 5 0 % を含有し、R 値を上記 (3) 式に代えて、下記 (3') 式により定義する R 値が 3 5 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の高強度破断分割用非調質鋼。

$$R = 4 6 . 7 - 7 . 4 \times \% Si + 3 7 . 7 \times \% Mn - 3 4 9 \times \% S - 1 2 . 0 \times \% V \\ - 1 7 4 \times \% Al - 8 6 . 6 \times \% Pb \quad \cdots (3')$$

ここで、式中、% Si、% Mn、% S、% V 及び % Pb は、鋼中の含有量 (質量 %) であり、% Al は、不純物としての含有量 (質量 %) である。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の鋼からなり、熱間鍛造して冷却後の鋼組織が、フェライト・パーライト組織であることを特徴とする高強度破断分割用鋼部品。

【請求項 5】

鋼組織のフェライト体積分率が 6 0 % 以上であることを特徴とする請求項 4 記載の高強度破断分割用鋼部品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、破断分割して使用する鋼部品用の素材であって、熱間鍛造による鋼部品成形

10

20

30

40

50

直後、所定の冷却を施して使用するのに好適な高強度破断分割用非調質鋼、およびその非調質鋼を素材とした高強度で、かつ優れた破断分割性を兼ね備えた破断分割用鋼部品に関わるものである。

【背景技術】

【0002】

最近の自動車エンジン用鍛造部品および足廻り用鍛造部品は、調質処理の省略が可能な熱間鍛造用非調質鋼（以下、非調質鋼とする）が適用されている。非調質鋼は熱間鍛造後、空冷または風冷ままで、すなわち旧来の焼入れ焼戻しの調質処理を省略しても、優れた機械的性質を実現するように成分設計された鋼である。

【0003】

非調質鋼が広く適用されている部品のひとつとして、エンジン用コネクティングロッド（以下、コンロッドと呼ぶ）がある。コンロッドはキャップとロッドの2つの部品から成っており、従来はキャップとロッドを別々に作製して、ボルト締結していた。しかし、この方法ではキャップとロッドの接合面を高精度に仕上げる必要があり加工コストがかかる。このため、近年はキャップとロッドが一体となった形状に熱間鍛造成型した後、大端部内側に切欠きを加工して衝撃引張りによりキャップとロッドに破断分割し、再度、破断破面をつき合わせ、ボルト接合する方法が採用されるようになってきている。このような破断分割コンロッドは、接合面の仕上げ加工工程を省略できることからコスト低減になるのみならず、破面がコンロッドにかかる応力の一部を負担するため強度に優れ、よってボルト及び本体を小型化できるメリットもある。

【0004】

破断分割コンロッドが広く普及した欧米において最も一般的な破断分割用の非調質鋼は約0.7重量%の炭素を含む高炭素鋼である。高炭素組成にすると低延性化するため、破断加工が容易で、かつ破断時の変形が小さくなるというメリットが得られるが、反面、降伏強さや耐久強さに劣るという欠点も生じる。

【0005】

従来の高炭素鋼の欠点を克服する比較的低炭素の高強度非調質鋼として、下記の特許文献が開示されている。

【0006】

例えば、特許文献1および特許文献2に記載されている熱間鍛造用非調質鋼は、中炭素（C：0.30から0.60重量%）とすることで降伏強さを向上させており、加えてMn含有量とN含有量を低減することで、高い破壊性すなわち小さな破断変形を実現している。

【0007】

また、鋼中に第2相粒子を分散させて破断性を高めた鋼も多く提案されている。例えば、特許文献3では、低Mn化および低N化に加えて、TiC粒子の分散により、C含有量0.35%未満の低炭素鋼でも、十分な破断分割性が得られることが記載されている。TiC分散を利用した発明は特許文献4にも記載されている。特許文献4では、熱間鍛造時にTiCによるオーステナイト粒のピン止めが不十分で混粒になるため、冷却後に大きなパーライト粒が変態し、これが破断分割性を高めるとしている。

【0008】

特許文献5には、Ti炭硫化物とZr炭硫化物の最大直径が10μm以下、その量の和が清浄度で0.05%以上である被削性に優れた低延性非調質鋼材が記載されている。破断性を高める手段としてパーライト組織分率を高める方法も一般的である。特許文献6には、C：0.2～0.5%、V：0.05～0.5%を含有し、フェライト分率が20%以下のフェライト-パーライト鋼を破断分割コンロッドに適用することが記載されている。

【0009】

さらに、特許文献7には、鋼中のTiN介在物の最大直径が5μm以上かつその量が数密度5個/mm²以上、かつパーライト面積率が20%以上であることを特徴とする破断

10

20

30

40

50

分割に適した高強度非調質鋼が記載されている。

【0010】

一方、パーライトの面積率を40%以下とするとともに、硫化物形態を制御することでランダム且つ凹凸の大きい破面を得る方法が特許文献8に記載されている。

【0011】

以上に加えて、特許文献9記載のように比較的多量のPを添加して破断時の変形を抑制する方法も知られている。特許文献10には、パーライト組織分率を50%以上とすると共に、炭素含有量0.4~0.5%の場合にはPを0.05~0.15%添加するのが適切であるとしている。

【0012】

Si、V、Ti、Pおよび固溶Vを利用して脆性破壊を促進する方法、および切り欠きを用いて脆性破壊を促進する方法を種々記載した特許文献としては特許文献11がある。

【0013】

これまでに公開された破断分割用コンロッドの発明を概観すると、鋼組織をフェライト・パーライトと限定していることは共通である。しかし、適正なフェライトとパーライト組織の比率については大きく異なり、フェライトを20%以下とするもの、あるいはパーライトを40%以下とするものなどがある。破断分割性を高める方法としては多種多様あり、Ti炭化物の分散、Ti窒化物の分散、Mn含有量の低減、析出強化の利用、多量のP添加、加えてコンロッドに切り欠きを加工する方法などが見られる。

【0014】

【特許文献1】特開平10-324954号公報

【特許文献2】特開平11-152546号公報

【特許文献3】特開平11-315340号公報

【特許文献4】特開2005-2367号公報

【特許文献5】特開平11-286746号公報

【特許文献6】特開2003-193184号公報

【特許文献7】特開2004-277817号公報

【特許文献8】特開2003-342671号公報

【特許文献9】特開平10-219389号公報

【特許文献10】特開2002-275578号公報

【特許文献11】特開平9-176785号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

本発明の主な対象部品となるのは破壊分割して使用される高強度コンロッドであり、高い強度、具体的には850MPa以上の引張り強さと650MPa以上の0.2%耐力を備えると共に、優れた破断加工性を実現するものである。この要求を満たすためには、できる限り低炭素組成であって部品の組織は完全なフェライト・パーライト組織となることが望ましい。しかし、炭素含有量の低い鋼で850MPa以上の引張り強さに調節しようとすると、炭素以外の合金元素量を増やさざるを得なくなり、その結果、熱間鍛造品にベイナイト組織が変態しやすくなる。ベイナイトが変態すると、破断性が低下するだけでなく、降伏強さや降伏比が低下して部品として必要な機械的性質が得られなくなるという問題が生ずる。

【0016】

また、これら破断分割性に優れた鋼材は、常温のみならず熱間においても延性が低く、よって素材棒鋼の製造ならびに熱間鍛造時にキズ、割れが生じ易いという一般的特徴がある。鋼素材の casting、熱間圧延、および部品の熱間鍛造の容易さは工業的に非常に重要であり、高い熱間延性が必要である。

【0017】

本発明が解決しようとする課題は、熱間延性に優れ、熱間鍛造後に空冷または風冷した

10

20

30

40

50

場合に安定して完全なフェライト・パーライト組織となる、破断分割性に優れた高強度非調質鋼および破断分割用鋼部品を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明者らは、上記課題を解決するために、鋭意、実験を重ねて研究した結果、次の点を知見して本発明を完成した。

【0019】

1) 鋼の基本成分組成として、C: 0.30 ~ 0.45%とし、Si: 0.50 ~ 0.80%未満、さらにV: 0.27% ~ 0.45%添加してV炭窒化物を鋼中に析出、分散させることにより、フェライトを強化し、降伏強さ、引張り強さを向上させ、かつ延性を低下させる。

10

【0020】

2) 下記(1)式で定義するK値を1.3(%)以下とすることで、熱間鍛造後、空冷または風冷した場合に完全なフェライト・パーライト組織が得られる。

$$K = -0.56 \times \%C - 0.07 \times \%Si + 1.3 \times \%Mn + 0.80 \times \%Cr - 1.80 \times \%P + 0.19\%V - 5.6 \times \%N \quad \cdots (1) \quad (\% \text{元素記号は、鋼中含有率}\%)$$

【0021】

3) 優れた破断分割性を得るには、フェライト・パーライト組織中のフェライト分率を60%以上とし、そのためには、下記(2)式で定義するF値を3.0(%)以下とする。

20

$$F = 4.3 \times \%C - 0.21 \times \%Si + 1.0 \times \%Mn + 1.4 \times \%Cr - 1.90 \times \%P + 1.8\%V - 6.6 \times \%N \quad \cdots (2) \quad (\% \text{元素記号は、鋼中含有率}\%)$$

【0022】

4) 優れた熱間延性を得るには、下記(3')式で定義するR値を35(%)以上とする。

$$R = 46.7 - 7.4 \times \%Si + 37.7 \times \%Mn - 34.9 \times \%S - 12.0 \times \%V - 17.4 \times \%Al - 86.6 \times \%Pb \quad \cdots (3') \quad (\% \text{元素記号は、鋼中含有率}\%)$$

【0023】

本発明は上記知見に基づいて完成したもので、本発明の要旨とするところは、次のとおりである。

30

【0024】

(a) 質量%で、

C: 0.30% ~ 0.45%、
Si: 0.50% ~ 0.80%未満、
Mn: 0.76% ~ 1.17%、
P: 0.040% ~ 0.080%、
S: 0.040% ~ 0.118%、
Cr: 0.05 ~ 0.20%、
Al: 0.010%以下、
V: 0.27% ~ 0.45%、
N: 0.0050% ~ 0.0145%

40

を含有し、残部Feと不可避的不純物からなり、

下記(1)式で定義するK値が1.3以下、下記(2)式で定義するF値が3.0以下、および下記(3)式で定義するR値が35以上であることを特徴とする高強度破断分割用非調質鋼。

$$K = -0.56 \times \%C - 0.07 \times \%Si + 1.3 \times \%Mn + 0.80 \times \%Cr - 1.80 \times \%P + 0.19\%V - 5.6 \times \%N \quad \cdots (1)$$

$$F = 4.3 \times \%C - 0.21 \times \%Si + 1.0 \times \%Mn + 1.4 \times \%Cr - 1.90 \times \%P + 1.8\%V - 6.6 \times \%N \quad \cdots (2)$$

$$R = 46.7 - 7.4 \times \%Si + 37.7 \times \%Mn - 34.9 \times \%S - 12.0 \times \%V$$

50

- $174 \times \%Al \cdots (3)$

ここで、式中、 $\%C$ 、 $\%Si$ 、 $\%Mn$ 、 $\%Cr$ 、 $\%P$ 、 $\%V$ 、 $\%N$ 及び $\%S$ は、鋼中の含有量（質量％）であり、 $\%Al$ は、不純物としての含有量（質量％）である。

【0025】

(b)さらに、質量％で、 $Ca: 0.0005 \sim 0.0030\%$ 、

$Zr: 0.0005 \sim 0.0030\%$ 、

$Te: 0.0005 \sim 0.0030\%$ 、

及び $Ti: 0.005 \sim 0.050\%$

の内のいずれか1種もしくは2種以上を含有することを特徴とする上記(a)記載の高強度破断分割用非調質鋼。

10

【0026】

(c)さらに、質量％で、 $Pb: 0.010 \sim 0.050\%$ を含有し、 R 値を上記(3)式に代えて、下記(3')式により定義する R 値が35以上であることを特徴とする上記(a)または(b)記載の高強度破断分割用非調質鋼。

$$R = 46.7 - 7.4 \times \%Si + 37.7 \times \%Mn - 34.9 \times \%S - 12.0 \times \%V - 174 \times \%Al - 86.6 \times \%Pb \cdots (3')$$

ここで、式中、 $\%Si$ 、 $\%Mn$ 、 $\%S$ 、 $\%V$ 、 $\%Al$ 、及び $\%Pb$ は、鋼中の含有量（質量％）であり、 $\%Al$ は、不純物としての含有量（質量％）である。

ここで、式中、 $\%Si$ 、 $\%Mn$ 、 $\%S$ 、 $\%V$ 、及び $\%Pb$ は、鋼中の含有量（質量％）であり、 $\%Al$ は、不純物としての含有量（質量％）である。

20

【0027】

(d)上記(a)乃至(c)のいずれかに記載の鋼からなり、熱間鍛造して冷却後の鋼組織が、フェライト・パーライト組織であることを特徴とする破断分割用鋼部品。

【0028】

(e)鋼組織のフェライト体積分率が60%以上であることを特徴とする上記(d)記載の破断分割用鋼部品。

【発明の効果】

【0029】

本発明の高強度破断分割用非調質鋼は、熱間延性に優れ、熱間鍛造後に空冷または風冷した場合に安定して完全なフェライト・パーライト組織となり、破断分割性に優れている。そして、その高強度破断分割用非調質鋼から製造した鋼部品は、高強度で、かつ破断時に変形量が小さい優れた破断分割性を有すると共に、製造時に必要とされる十分な熱間延性を備える。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

破断分割用の非調質鋼はすでに多くの発明が開示されており、それら発明の特許請求の範囲には非常に広い範囲の鋼組成が記載されている。しかし、通常の工業的生産ができる程度に熱間延性に優れること、熱間鍛造後、空冷または風冷した場合に完全なフェライト・パーライト組織となること、高強度であること、および破断分割に優れること等の必要要件を全て備えた鋼は非常に少ない。

40

【0031】

フェライト・パーライト組織は、焼戻しマルテンサイト、またはベイナイト組織と比較して延性や衝撃値が低く、破断分割時の変形を効果的に抑制する効果を有する。

そこで、本発明者らは特に熱間鍛造後、空冷または風冷した場合に、完全なフェライト・パーライト組織を形成すると共に熱間延性に優れた成分組成を検討して高強度破断分割用鋼の最適成分組成を創案した。

【0032】

本発明の鋼部品は、特徴の第1が、 V 析出強化を積極的に利用した非調質鋼からなるものであって、その特徴の一つは完全なフェライト・パーライト組織を備えることである。従来の発明による破断分割部品は、少量のベイナイトをしばしば含有し、破断分割性や機

50

械的性質の劣化原因となっていたが、本発明ではこれを改善し、工業的生産において安定な材質を確保した。

【0033】

特徴の第2は、本発明の鋼で製造した部品のフェライト体積分率を60%以上と非常に大きな値に制御していることである。フェライトの体積分率を60%以上と高めかつ大幅に析出強化した鋼においては、破断時の変形が小さく、破面直下に発生する剥離や最終破断部に発生する欠けが抑制される。

【0034】

これら破断分割部品としての材質に加え、本発明の第3の大きな特徴は破断分割用鋼一般に共通する熱間延性の低さという欠点を改善したことである。通常の破断分割用鋼で大きな問題となるのは、鑄造時に発生する割れやキズと、その後の熱間加工、すなわち素材棒鋼の熱間圧延や、部品の熱間鍛造時のキズ発生である。工業生産上、特に問題となるのは前者、すなわち鑄造時に発生する割れやキズであるが、この問題解決を課題とした発明例はなく、効率的な工業生産が容易でない鋼が多く提案されていた。

【0035】

先ず、実部品を熱間鍛造で成形し、その直後空冷あるいは風冷して冷却した場合に、安定して完全なフェライト・パーライト組織を得るという課題を解決するにあたって、含V中炭素鋼を中心とした種々の鋼を対象として熱間鍛造・冷却工程を再現する実験を行った。

【0036】

実験の対象としたのは、C量：0.11～0.50%（質量%、以下同じ。）、Si：0.15～1.41%、Mn：0.40～1.21%、P：0.006～0.115%、S：0.007～0.108%、Cr：0.02～0.50%、Al：0.001～0.034%、V：0.20～0.45%、Ti：0～0.059%、Pb：0～0.260%、Ca：0～0.0041%、N：0.0022～0.0141%の成分組成の68水準の鋼であり、実験は熱間加工再現装置を用い、以下の条件で行った。試験片は直径8mm、高さ12mmとした。この試験片を1523Kに加熱後、1.0K/sの冷却速度で冷却しつつ、冷却途中の1323Kで高さ比60%の圧縮加工を施し、さらに1.0K/sの冷却速度で室温まで冷却した。その後、試料を中心線上で2分割し、試料の1/4厚さ部の組織を光学顕微鏡を用いて観察し、ベイナイト組織の有無を判断した。具体的には、硝酸アルコール希釈液（ナイタール）にて腐食した組織を200倍の倍率で光学顕微鏡観察し、不定形のフェライト粒の割合を測定した。完全なフェライト・パーライト組織に観察される初析フェライト粒は、白色で多角形状であるが、同じく白色ながら微量の炭化物が析出した不定形の組織が発現した場合、それはベイナイトであると判断した。不定形とは、基本的に粒界に凹凸がある形状あるいは針状に変化した形状を示す。本発明では、初析フェライト粒とベイナイト粒の総数に占めるベイナイト粒の割合が3%未満の時、組織はフェライト・パーライトであるとする。ベイナイト粒が3%未満であれば材質にほとんど影響がないからである。

【0037】

このようにして、鋼成分組成とベイナイト組織分率の関係を重回帰分析で調べたところ、範囲に下記(1)式で定義するK値が1.30(%)以下のときにベイナイト分率が3%以下となることが分かったので、該K値を1.3以下に限定した。

$$K = -0.56 \times \%C - 0.07 \times \%Si + 1.3 \times \%Mn + 0.80 \times \%Cr - 1.80 \times \%P + 0.19 \%V - 5.6 \times \%N \quad \cdots (1)$$

ここで、式中、%C、%Si、%Mn、%Cr、%P、%V、及び%Nは、鋼中の含有量（質量%）である。

【0038】

なお、本発明が対象とする部品では、熱間鍛造直後の冷却中1073～673Kの平均冷却速度（温度差400Kを1073Kから673Kまで温度が低下する経過時間で割った値）が2.0K/s以下であることを前提としているが、平均冷却速度2.0K/sで

10

20

30

40

50

空冷した実部品の組織と硬さを熱加工再現装置の単純加熱 - 等速度冷却で再現するには、 γ 化後の平均冷却速度を 1.0 K/s とするのが適当である。

【0039】

次に、破断性に及ぼす組織の影響について検討した。

【0040】

試験片の素材は上記 K 値を求めるのに用いた 68 水準のうち、C 量：0.20 ~ 0.50 % (質量 %、以下同じ。)、Cr：0.02 ~ 0.20 %、Al：0.010 % 以下、Ti：0 ~ 0.030 %、Pb：0.10 % 以下の範囲にある 42 水準を用いた。これら鋼素材は、16 kg 実験炉にて溶解し、インゴットに鑄造後、断面 $25 \times 100 \text{ mm}$ の板材に熱間加工したものである。さらに、熱間鍛造工程を再現するため、この板状素材を 100 mm 長さに切断し、1503 K に 5 分加熱後、風速 5 m/s の風を当てて室温まで冷却した。冷却後、図 1 (a) に示したコンロッドの大端部を模した形状の試験片を仕上げ加工した。内径の 180° で相対する 2 カ所には、深さ 1.0 mm、先端曲率 0.5 mm の 45° V ノッチを加工した。さらに、図 1 (b) に示すように直径 8.0 mm の貫通穴 4 を中心線がノッチ加工側の側面から 8.0 mm の位置となるように開けてある。

【0041】

破断性に関する試験は以下の通りである。すなわち、図 1 の試験片の内径を測定した後、図 1 の上下方向に割れる割り型を入れ、割り型の中央に作ったくさび受け口にくさびを差し込み、くさびに 200 kg の重りを 40 mm 高さから落とすことで、試験片を切り欠き位置で衝撃的に破断した。なお、割り型はレール上にあつて、片方は固定、もう一方の割り型はレール上を滑る構造となっており、破断後に 2 分割された試験片が割り型からはずれないように、試験片はボルトで割り型に固定されている。

【0042】

試験前後の変形量は、内径変化量の合計とした。具体的には、破断後、破面部を突き合わせて再結合 - ボルト締めした後に試験片内径を測定し、予め測定した初期状態の内径との差を求め、上下と左右方向の差の合計を変形量とした。内径変形量が小さいほど破断性が高いと判断した。

【0043】

また、試験片の破断面から 5 mm 離れた断面において、硬さと、光学顕微鏡によりフェライト体積率を測定した。

【0044】

試験片の破断前後の内径差と、硬さ及びフェライトの体積率との関係を調査した結果、破断前後の内径差は硬さとフェライトの体積率に大きく影響されることが明らかとなった。すなわち、全体の硬さが高いほど、かつフェライトが適度に存在する場合、特にフェライト体積分率が 60 % 以上の場合に、衝撃破断したときの変形量が 0.100 mm 以下と十分に小さいことが明らかとなった。

【0045】

続いて、K 値を求めた時と同じ 68 水準の鋼を用い、フェライト体積分率に及ぼす鋼の合金元素量の影響を調べた。試験片は直径 8 mm、高さ 12 mm の形状であり、この試験片を熱間加工再現装置を用いて 1503 K に加熱後、 1.0 K/s の冷却速度で冷却しつつ、冷却途中の 1323 K で高さ比 60 % の圧縮加工を施し、さらに 1.0 K/s の冷却速度で室温まで冷却した。その後、試料を中心線上で 2 分割し、試料の $1/4$ 厚さ部の組織を光学顕微鏡を用いて観察し、フェライト体積率を調べた。合金元素量とフェライト体積分率の関係を重回帰分析で求めた結果、下記 (2) 式で定義する F 値が 3.0 (%) 以下の場合に 60 % 以上となり、破断変形量は 0.7 質量 % の C を含有する破断分割用の既存非調質鋼を素材とした場合と同等以下の良好な値となった。このことから、該 F 値を 3.0 以下に限定した。

$$F = 4.3 \times \%C - 0.21 \times \%Si + 1.0 \times \%Mn + 1.4 \times \%Cr - 1.90 \times \%P + 1.8 \%V - 6.6 \times \%N \quad \cdots (2)$$

ここで、式中、 $\%C$ 、 $\%Si$ 、 $\%Mn$ 、 $\%Cr$ 、 $\%P$ 、 $\%V$ 、及び $\%N$ は、鋼中の含有

量（質量％）である。

【0046】

さらに、鋼片の製造性指標となる溶融 - 凝固直後の熱間延性は熱間引張り試験で評価した。

【0047】

供試鋼は、C量：0.11～0.50％（質量％、以下同）、Si：0.15～1.41％、Mn：0.17～2.46％、P：0.006～0.115％、S：0.007～0.108％、Cr：0.02～1.00％、Al：0.001～0.034％、V：0～0.45％、Ti：0～0.059％、Pb：0～0.260％、Ca：0～0.0041％、N：0.0022～0.0141％の成分組成の鋼96水準である。

10

【0048】

試験片は直径1.0mm、長さ100mmの棒状とし、試料の中央部を石英チューブで覆うとともに熱電対を取り付けた。これを引張り装置のついた通電加熱装置に取り付け、両端部を銅の水冷帯で冷却しつつ通電加熱した。通電により試料中央部を加熱、溶融して60s保持後、10K/sで一定温度（1473K、1373K、および1273K）まで冷却し、各温度に30s保持後に歪み速度0.005/sで引張り破断した。熱間延性の指標として破断後の絞り値を採用した。この絞り値が小さい鋼では、連続鋳造時の割れやキズが発生し易いと判断できる。

【0049】

これらの試験で、引張り破断温度1473K、1373K、および1273Kでの絞り値を独立変数、合金元素を従属変数として重回帰計算し、重回帰式における各元素の重相関係数（統計上有意と判断された元素のみ）と定数の平均値を求め、これらの数値を用いて下記（3'）式のR値を得た。

20

$$R(\%) = 46.7 - 7.4 \times \%Si + 37.7 \times \%Mn - 34.9 \times \%S - 12.0 \times \%V - 17.4 \times \%Al - 86.6 \times \%Pb \cdots (3')$$

ここで、式中、%Si、%Mn、%V、%Al、%Pb及び%Sは、鋼中の含有量（質量％）である。

【0050】

連続鋳造で鋳片を製造する際、割れやキズを防止するためには、絞り値が高いほど有利である。割れやキズの発生し易さは鋳造機の構造と鋳造条件にも影響されるが、各種低熱間延性の鋼の絞り値と、割れ、キズ発生頻度との関係を調査した結果により、絞り値が35％以上であれば連続鋳造時の割れやキズ発生頻度が十分低減されることが分かっている。上記（3'）式で求められるR値を35以上に限定した。

30

【0051】

次に、本発明鋼の合金組成の限定理由について説明する。

【0052】

C：0.30～0.45質量％（以下、質量％表示とする）

Cは部品として必要な強度を確保し、また鋼を脆化し良好な破断性を得るために0.30％以上が必要である。一方、C量を多くするとパーライトが増加して降伏比が低下するため、合金元素を調整して引張り強さや硬さを高くしても降伏強さがあまり向上しないばかりか、破断性および被削性が低下するので、上限を0.45％に限定する。また、CはVと炭化物を形成し、フェライトを析出強化する。

40

【0053】

Si：0.50～0.80％未満

Siはフェライト変態を促進させてフェライト分率を増加させるのに必須な元素である。また、フェライトを固溶強化すると共に延性を低下させる。フェライトの延性を低下させるためには0.50％以上にすることがある。しかし、0.80％以上にすると、著しく熱間延性が低下する。

【0054】

Mn：0.76～1.17％

50

Mnは、固溶強化元素であると同時にベイナイト変態を促進する元素であり、ベイナイト発生防止のため上限を1.17%とする。また、Mnは鋼中のSを硫化物として固定し、熱間延性を高めるのに必要である。安定して高い熱間延性を得るため、下限を0.76%に限定する。

【0055】

P: 0.040 ~ 0.080 %

Pはフェライト変態促進およびベイナイト変態抑制元素である。ベイナイト変態を抑制するのに十分な効果を得るには、0.040%以上が必要である。多量に添加した場合、熱間延性が低下して割れまたは疵が生じやすくなる。よって、0.080%以下に限定する。熱間延性確保の意味からは0.065%未満がなお好ましい。

10

【0056】

S: 0.040 ~ 0.118 %

SはMnと結合してMnS粒子を形成して被削性を向上させる。十分な被削性を得るために、下限を0.040%とする。しかし、多量に添加した場合、機械的性質の異方性が大きくなることから上限を0.118%とする。

【0057】

Cr: 0.05 ~ 0.20 %

CrはMnと同様に固溶強化元素であると同時にベイナイト変態を促進する元素である。引張り強さや硬さを確保するため、0.05%以上添加する。しかし、CrはMnよりもベイナイト変態を促進する効果が高いため、ベイナイト抑制のための0.20%以下に限定する。

20

【0058】

V: 0.27 ~ 0.45 %

Vは炭窒化物を形成してフェライトを析出強化して、降伏強さ、引張り強さを向上させ、かつ延性を低下させる元素である。またVの炭窒化物はフェライト変態を促進する作用があるため、低延性の微細フェライトが増大する。その結果、破断変形が低減すると共に剥離等の破面のばらつきも減少する。これらの十分な効果を得るため、V量を0.27%以上に限定する。しかし、0.45%超では効果が飽和し、コストも高くなる。

【0059】

N: 0.0050 ~ 0.0145 %

30

Nは主にV窒化物、V炭窒化物を形成して、ベイナイト変態抑制およびフェライト変態促進をする元素である。これらの十分な効果を得るために、下限を0.0050%とする。過剰に添加すると熱間延性が低下して割れまたは疵が生じやすくなるので、上限を0.0145%とする。

【0060】

本発明は上記成分を基本成分とするが、さらに選択的に含有させる成分について説明する。

【0061】

Ca: 0.0005 ~ 0.0030 %、Zr: 0.0005 ~ 0.0030 %、Te: 0.0005 ~ 0.0030 %、Ti: 0.005 ~ 0.050 %の内のいずれか1種または2種以上

40

Ca、Zr、Te、Tiはいずれも硫化物を微細化する効果が知られている。本発明における微細硫化物の分散は、熱間鍛造直後のオーステナイト組織の粗大化を防止し、その結果フェライト変態を促進する。またフェライト変態を促進することでベイナイト変態が抑制される。これらの効果を期待するには、Ca、Zr、Teは0.0005%以上の添加が必要であり、Tiについては0.005%以上の添加が必要となる。しかし、多量に添加した場合に生成する粗大な酸化物、硫化物は、熱間延性および被削性の低下要因となるため、Ca、Zr、Teの上限を0.0030%、Tiの上限を0.050%とする。Tiは硫化物を微細化してベイナイト変態を抑制する効果がある一方、窒化物を優先的に形成するため、過剰に添加するとV窒化物の生成量を低減させてフェライト量が低減する

50

好ましくない効果もある。このため、Tiを添加する場合、0.040%以下がより好ましい。

【0062】

Pb: 0.010 ~ 0.050%

Pbは被削性向上のために添加する。しかしPbは熱間延性を低下させる効果があるため、0.050%以下に限定する。十分な被削性向上の効果を発揮させるためには0.010%以上を必要とする。

【0063】

その他の不可避免的に含有された場合の合金元素について説明する。

【0064】

Al: 0.010%以下

Alは上記(3')式のとおり、熱間延性の低下要因になるため積極的に添加しない。AlはAl酸化物として鋼中に分散し被削性を低下させるため、Alを添加しない方が被削性の確保のためにも有効である。不可避不純物としてのAlは0.010%以下とする。

【0065】

Cu: 0.15%以下, Ni: 0.15%以下, Mo: 0.01%以下

Cu、NiおよびMoは任意に含有させることができる成分であって、微量であればコンロッドの材質に対して特段の影響を及ぼさないが、いずれも焼入れ性を高めてベイナイトの変態を促進する効果がある。ベイナイト組織を防止する上で、不可避不純物として含有されるCu、Niはともに0.15%以下、Moは0.01%以下が望ましい。

【0066】

NbはVと同様に析出強化、組織微細化の効果があり、V: 0.27 ~ 0.45%の一部をNbに置換することは可能である。しかし、Nb炭窒化物はV炭窒化物と比較して固溶温度が高く、素材棒鋼の製造工程において粗大化しやすいので、本発明では積極的に添加しない。

【0067】

以上については、コンロッドを主眼に説明したが、現在のところ、コンロッド以外に破断分割技術は普及していないものの、本発明は、コンロッドと同様に、正確な寸法精度での締結が必要な部品、あるいは組み付け精度と共に、保全作業上、取り外しと取り付けが繰り返される部品へ適用できる。

【実施例】

【0068】

以下実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。

【0069】

表1の組成を有する本発明鋼および比較鋼を16kg真空溶解炉で溶解しインゴットとした。これらインゴットを1493Kに加熱して直径55mmの棒鋼に鍛伸、放冷し、これを評価用素材とした。

【0070】

始めに素材の溶融 - 凝固直後の熱間延性を前述と同じく熱間引張り試験で評価した。試験片は直径1.0mm、長さ100mmの棒状とし、試料の中央部を石英チューブで覆うとともに熱電対を取り付けた。これを引張り装置のついた通電加熱装置に取り付け、両端部を銅の水冷帯で冷却しつつ通電加熱して試料中央部を溶融して60s保持後、10K/sで1273Kまで冷却して凝固させ、1273Kに30s保持後に引張り速度0.005mm/sで引張り破断して破断後の絞り値を測定した。

【0071】

また、素材棒鋼を用いたコンロッドの組織、機械的特性、および破断性を調べるため、鍛造コンロッド相当の試験片を熱間鍛造で作製した。具体的には、直径55mmの素材棒鋼を1503Kに加熱後、棒鋼長さ方向と垂直に鍛造して厚さ20mmとし、続いて衝風冷却により室温まで冷却した。冷却中1073Kから673K間の平均冷却速度は1.7

10

20

30

40

50

K / sであった。冷却後の鍛造材から、(1) 引張り試験片、(2) コンロッド大端部相当形状の破断試験片を加工した。コンロッド大端部相当形状の破断試験片の形状寸法を図 1 に示す。図 1 (a) に示すように試験片 1 は、80 mm × 80 mm、厚さ 18 mm の板形状の中央部に直径 50 mm の穴 2 を開けたものであり、直径 50 mm の穴内面上には、鍛造前の素材棒鋼の長さ方向と垂直な方向に 180 ° で相対する 2 カ所に、深さ 1.0 mm、先端曲率 0.5 mm の 45 ° V ノッチ 3 を加工した。さらに、図 1 (b) に示すように、直径 8.0 mm の貫通穴 4 を中心線がノッチ加工側の側面から 8.0 mm の位置となるように開けたものである。

【 0 0 7 2 】

試験装置は割型と落錘試験機からなっている。割型は長方形の鋼材上に成形した円柱を中心線に沿って 2 分割した形状で、片方が固定され、片方がレール上を移動する。2 つの半円柱のあわせ面にはくさび穴が加工されている。破断試験時には、試験片をこの割型にはめ込み、くさびを入れて落錘の下に設置する。落錘は重さ 200 kg であり、ガイドに沿って落下する仕組みである。落錘を落とすと、くさびが打ち込まれ、試験片は 2 つに引張り破断される。なお、破断時に試験片が割型から遊離しないよう、試験片は割型に押しつけられるよう周囲を固定されている。

【 0 0 7 3 】

本実施例では、落錘高さ 100 mm で破断を行い、破断後の試験片を突き合わせてボルト締めし、破断方向および破断方向と垂直な方向の内径変化を測定した。

【 0 0 7 4 】

また、破断面から 5 mm 離れた断面上について、光学顕微鏡によりフェライト体積率を測定すると共に、前記と同じ方法でミクロ組織を観察してベイナイト組織の有無を判断した。すなわち、硝酸アルコール希釈液 (ナイタル) にて腐食した組織を 200 倍の倍率で光学顕微鏡観察し、白色で微量の炭化物が析出した不定形の粒をベイナイト粒として計数した。初析フェライト粒とベイナイト粒の総数に占めるベイナイト粒の割合が 3 % 未満の時、ベイナイト組織は無いとし、フェライト・パーライトであると定義した。

【 0 0 7 5 】

表 1 に熱間引張り試験後の絞り値、鍛造コンロッド再現材のベイナイト組織の有無、常温での引張り試験結果、破断試験後の変形量 (X Y 方向の内径変化量平均値) を示した。

【 0 0 7 6 】

No. 1 ~ 24 は本発明例である。いずれも、ベイナイト組織の発現はなく、フェライト分率は 60 % 以上、熱間引張り試験の絞り値は 36 % 以上と良好である。また、常温引張り試験試験の引張り強さと 0.2 % 耐力は、それぞれ 860 MPa 以上、695 MPa 以上であり、本発明の目指す 850 MPa 以上の引張り強さと 650 MPa 以上の 0.2 % 耐力が実現している。

【 0 0 7 7 】

これに対して、従来鋼 C70S6 は C 含有量が多いため、引張り強さ (TS) は 1004 MPa と高いものの、0.2 % 耐力は 623 MPa と低い。

【 0 0 7 8 】

No. 26 ~ 39 の比較鋼においては、K 値の大きい No. 26, 27 および 28 においてベイナイト組織が変態し、破断実験の変形量が大きくなっている。また No. 27, 28, 29 は F 値が大きくフェライト分率が低く、やはり破断変形量が大きい。No. 30, 31, 32, 38, 39 はいずれも R 値が低く、熱間引張り試験の絞り値が 35 % 未満となっているため、工業的な鋼材の製造が困難である。No. 33 ~ 37 は R 値が大きいものの、Ca, Zr, Te が多量に添加されており、これも熱間引張り試験の絞り値が低い。

【 0 0 7 9 】

【表 1】

No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	N	Ca	Zr	Te	Ti	Pb	K値	F値	R値	ベイト 有無	7-エイト分率 (%)	絞り値 (%)	0.2MPa (MPa)	TS (MPa)	変形量 (μm)
1	0.30	0.61	0.87	0.062	0.075	0.07	0.005	0.45	0.0073						0.93	2.8	43	無	67	40	800	1008	68
2	0.37	0.50	0.78	0.055	0.094	0.12	0.003	0.27	0.0120						0.75	2.7	36	無	65	38	719	888	73
3	0.35	0.65	0.85	0.046	0.078	0.19	0.003	0.34	0.0056						0.97	3.0	42	無	62	40	780	951	76
4	0.45	0.53	0.80	0.074	0.092	0.05	0.004	0.29	0.0140						0.64	3.0	37	無	61	39	761	941	67
5	0.33	0.63	0.77	0.065	0.064	0.15	0.009	0.29	0.0095						0.78	2.6	44	無	66	37	695	876	90
6	0.36	0.78	1.17	0.071	0.071	0.05	0.003	0.28	0.0113						1.17	2.9	56	無	60	57	759	950	100
7	0.33	0.68	1.01	0.042	0.076	0.10	0.004	0.32	0.0085						1.10	2.9	49	無	61	52	729	918	93
8	0.41	0.72	0.84	0.055	0.053	0.08	0.007	0.29	0.0052						0.80	2.9	50	無	61	47	775	959	89
9	0.32	0.64	0.85	0.068	0.042	0.11	0.005	0.40	0.0145						0.84	2.7	54	無	63	51	753	949	98
10	0.33	0.57	1.04	0.069	0.115	0.10	0.005	0.35	0.0093						1.10	2.9	36	無	62	36	790	964	53
11	0.35	0.79	1.02	0.060	0.103	0.11	0.009	0.29	0.0108						1.07	2.9	38	無	62	38	755	931	72
12	0.35	0.64	0.92	0.080	0.072	0.15	0.002	0.37	0.0128	0.0013					0.93	2.9	47	無	61	44	788	973	81
13	0.36	0.55	0.86	0.055	0.078	0.18	0.005	0.33	0.0098		0.0017				0.93	3.0	43	無	62	44	767	944	78
14	0.36	0.72	0.88	0.068	0.085	0.06	0.006	0.31	0.0088						0.85	2.8	40	無	68	37	752	929	75
15	0.38	0.65	0.82	0.065	0.066	0.09	0.003	0.33	0.0125			0.0009			0.77	2.8	45	無	65	42	773	959	80
16	0.40	0.55	0.83	0.048	0.088	0.12	0.005	0.30	0.0095				0.015		0.83	3.0	39	無	62	37	751	929	73
17	0.37	0.59	0.83	0.062	0.075	0.07	0.004	0.38	0.0066	0.0018	0.0021				0.83	2.9	42	無	62	47	766	959	75
18	0.38	0.63	0.84	0.050	0.055	0.11	0.008	0.29	0.0070		0.0013	0.0011			0.85	2.9	50	無	63	51	748	928	93
19	0.34	0.61	0.79	0.063	0.078	0.08	0.002	0.32	0.0088	0.0024			0.023		0.76	2.6	41	無	65	40	754	923	77
20	0.34	0.62	1.00	0.061	0.064	0.13	0.005	0.32	0.0095	0.0016		0.0017			1.07	2.9	53	無	64	51	755	939	98
21	0.38	0.54	0.92	0.062	0.078	0.09	0.006	0.29	0.0117	0.0013		0.0012			0.91	2.9	46	無	62	45	738	909	89
22	0.35	0.53	0.82	0.065	0.068	0.11	0.006	0.32	0.0067	0.0026		0.0020			0.83	2.8	45	無	66	40	732	919	86
23	0.33	0.53	0.87	0.048	0.072	0.12	0.008	0.38	0.0137	0.0009		0.0010		0.042	0.91	2.8	41	無	62	40	755	949	74
24	0.32	0.61	0.78	0.060	0.055	0.08	0.004	0.31	0.0108		0.0012			0.032	0.75	2.5	45	無	73	48	696	860	95
25	0.22	0.20	1.10	0.045	0.062	0.15	0.004	0.02	0.0034						0.36	3.7	43	無	10	41	623	1004	69
26	0.22	0.20	1.10	0.045	0.078	0.18	0.006	0.38	0.0075						1.39	2.8	54	有	65	49	684	852	270
27	0.35	0.65	1.42	0.054	0.085	0.08	0.005	0.38	0.0094						1.59	3.4	60	有	51	50	866	1073	333
28	0.32	0.65	1.02	0.063	0.048	0.48	0.006	0.32	0.0022						1.42	3.4	59	有	56	56	788	971	256
29	0.57	0.23	0.82	0.055	0.082	0.11	0.004	0.15	0.0053						0.72	3.5	45	無	47	48	678	939	140
30	0.37	0.99	0.92	0.068	0.138	0.07	0.005	0.18	0.0054						0.88	2.6	23	無	72	27	702	871	52
31	0.38	0.78	0.85	0.128	0.098	0.09	0.005	0.29	0.0079						0.69	2.7	34	無	69	30	788	966	214
32	0.30	0.68	0.88	0.069	0.093	0.10	0.090	0.28	0.0240						0.82	2.4	23	無	71	22	697	877	52
33	0.35	0.65	0.89	0.062	0.052	0.18	0.007	0.29	0.0132	0.0048					0.93	2.8	53	無	65	29	731	899	103
34	0.35	0.71	0.95	0.062	0.065	0.09	0.006	0.37	0.0121		0.0044				0.95	2.9	49	無	61	26	791	974	85
35	0.34	0.65	0.82	0.068	0.058	0.07	0.009	0.40	0.0078			0.0063			0.83	2.8	47	無	61	31	763	958	84
36	0.32	0.54	0.85	0.059	0.088	0.09	0.004	0.35	0.0078	0.0045	0.0015				0.86	2.7	39	無	67	25	723	899	78
37	0.38	0.59	0.79	0.062	0.083	0.13	0.005	0.31	0.0054	0.0021	0.0021	0.0057			0.81	2.9	39	無	64	27	755	951	69
38	0.36	0.72	0.82	0.053	0.104	0.11	0.003	0.38	0.0098					0.102	0.82	2.9	22	無	61	20	792	991	183
39	0.35	0.72	0.82	0.064	0.099	0.14	0.006	0.42	0.0055						0.87	3.0	32	無	61	33	796	991	210

実 施 例

従 来 材 (7056)

比 較 例

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図 1】破断試験に用いたコンロッド大端部相当形状の試験片を示す図で、(a)は平面

10

20

30

40

50

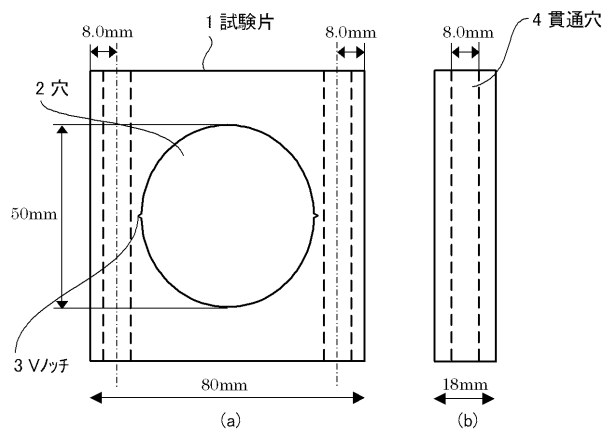
図、(b)は側面図である。

【符号の説明】

【0081】

- 1 試験片
- 2 穴
- 3 Vノッチ
- 4 貫通穴

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 久保田 学

東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 新日本製鐵株式会社内

F ターム(参考) 4E087 BA02 CB01 HA34