(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
2014 年 9 月 25 日(25.09.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/148447 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/58* (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/057205

(22) 国際出願日: 2014 年 3 月 17 日(17.03.2014)

(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 2013-060452 2013 年 3 月 22 日(22.03.2013) JP

(71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.)) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 杉谷 崇(SUGITANI Takashi). 島本 正樹(SHIMAMOTO Masaki). 名古 秀徳(NAKO Hidenori). 木村 世意(KIMURA Sei). 佐藤 進佑(SATO Shinsuke).

(74) 代理人: 濱田 百合子, 外(HAMADA Yuriko et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目７番１３号 虎ノ門イーストビルディング１０階 栄光特許事務所 Tokyo (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, BN, 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, IR, IS, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

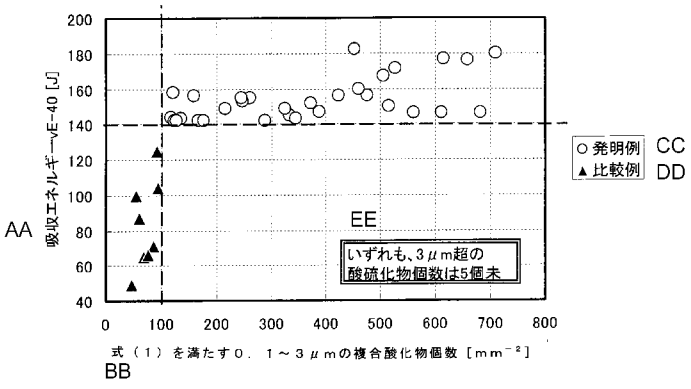
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

[続葉有]

(54) **Title**: STEEL MATERIAL HAVING SUPERIOR TOUGHNESS AT WELDING HEAT AFFECTED ZONE

(54) 発明の名称 : 溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材

[図1]



AA Absorbed energy vE-40 (J)
BB Number of complex oxides that are 0.1-3 μm satisfying formula (1) (mm^{-2})
CC Example of present invention
DD Comparative example
EE For each, the number of oxysulfides exceeding 3 μm is less than 5

(57) **Abstract**: In this steel material satisfying a predetermined chemical composition and having a remainder comprising iron and unavoidable impurities, a complex oxide is contained containing REM, Zr, Ti, Al, Ca, and S, the complex oxide has no greater than 5.0/mm^2 of oxides having a circle-equivalent diameter of greater than 3 μm, and with respect to complex oxides having a circle-equivalent diameter of 0.1-3 μm, there are at least 100/mm^2 of complex oxides satisfying formula (1), and furthermore the average composition of the complex oxides that are 0.1-3 μm satisfying formula (1) is such that there is no greater than 20% of Al_2O_3, 3-20% of TiO_2, 5-50% of ZrO_2, 5-50% of REM oxide, 5-50% of CaO, and 1-15% of S. $0.008 \leq (1/d) \times \{mass\%S/(mass\%CaO + mass\%REM2O3)\} \leq 0.289$ …(1) (where d is the circle-equivalent diameter of each complex oxide, and is 0.1-3 μm)

(57) 要約: 所定の化学成分組成を満足し、残部が鉄および不可避不純物からなる鋼材において、ＲＥＭ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ａｌ、ＣａおよびＳを含有する複合酸化物を含み、該複合酸化物について、円相当直径で３μｍ超の酸化物が１ｍｍ²あたり５．０個以下であって、かつ円相当直径が０．１～３μｍの複合酸化物について、下記式（１）を満たす複合酸化物個数が１００個／ｍｍ²以上であって、さらに、下記式（１）を満たす０．１～３μｍの複合酸化物の平均組成が、Al_2O_3：２０%以下、TiO_2：３～２０%、ZrO_2：５～５０%、ＲＥＭ酸化物：５～５０%、ＣａＯ：５～５０%、Ｓ：１～１５%となるようにする。 ０．００８≦（１／ｄ）×｛ｍａｓｓ%Ｓ／（ｍａｓｓ%ＣａＯ＋ｍａｓｓ%ＲＥＭ２Ｏ３）｝≦０．２８９ ・・・（１） （但し、ｄは個々の複合酸化物の円相当直径であって、０．１～３μｍである）

WO 2014/148447 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材

技術分野

[0001] 本発明は、造船、建築、橋梁等の溶接構造物用として好適な厚鋼板に関し、特に大入熱溶接であっても優れたＨＡＺ靭性を実現する鋼材に関する。

背景技術

[0002] 近年、橋梁、高層建造物、および大型船舶等、鋼材を用いた構造物は大型化する傾向にあり、この大型構造物を実現するためには、鋼材の高強度化・厚肉化が望まれている。これと共に、大型構造物の施工効率の向上と施工コストの低減を目的として、高強度・厚肉の鋼材を溶接する際の溶接効率の向上が求められている。

ところで、鋼材の溶接効率を向上させるには、同一箇所に対する溶接回数を減らすことが有効であり、小さな熱量（溶接熱）で鋼材に対して溶接を複数回繰り返すよりも、鋼材に対して大きな熱量（溶接熱）を加える大入熱の溶接を行って１回で溶接を完了させる大入熱で高能率の溶接が指向される。

[0003] しかし、一般的に、熱量の大小を問わず溶接熱に晒される溶接熱影響部（以下、ＨＡＺともいう）は、溶接時に高温となって鋼材の結晶粒が粗大化しやすい。加えて、鋼材への入熱量が増大するに従って溶接熱影響部が高温となり冷却時間が長くなる。高温かつ長い冷却時間は、溶接熱影響部における脆弱な上部ベイナイト組織の形成や、島状マルテンサイト等の脆化組織の形成を促進する条件となるため、鋼材のＨＡＺ靭性を低下させる原因となることはすでに知られている。

[0004] 上述のような溶接熱に起因するＨＡＺ靭性の低下に対処するために、特許文献１～５に開示される技術が提案されている。

特許文献１は、溶接熱影響部靭性（ＨＡＺ靭性）に優れた鋼材および製造方法を提供することを目的としたものである。具体的に、特許文献１に開示の製造方法は、溶鋼中で強い硫化物生成能を持つＣａに加えてＭｇおよび／

またはＲＥＭを添加し、微細酸化物を生成させることで微細硫化物を分散させて１４００℃以上に加熱されたＨＡＺ組織を細粒化し、２００ｋＪ／ｃｍ以上の大入熱溶接でも良好なＨＡＺ靭性を実現するとされている。

[0005] 特許文献２は、母材靭性と溶接部ＨＡＺ靭性に優れた高強度溶接構造用鋼およびその製造方法を提供することを目的としたものである。具体的に、特許文献２に開示の製造方法は、Ｔｉ添加後にＭｇ、Ｃａ、ＲＥＭの１種又は２種以上を添加するか、あるいはＴｉ添加とＭｇ、Ｃａ、ＲＥＭの１種又は２種以上とを同時に添加して酸化物や硫化物を微細分散させることで母材の加熱γ粒径を微細化し、さらに溶接入熱に関わらずＨＡＺの加熱γ粒径も微細化することを意図している。特許文献２は、この二つの微細化による効果として、良好な母材靭性と溶接部ＨＡＺ靭性を有する高強度溶接構造用鋼を製造可能であるとされている。

[0006] 特許文献３は、超大入熱溶接の溶接熱影響部靭性に優れた厚鋼板およびその製造方法を提供することを目的としたものである。具体的に、特許文献３の製造方法は、溶鋼中での酸化物、硫化物等の粒子組成の調整に加えて、さらに凝固過程で形成されるデンドライトの形態制御を行う。これにより特許文献３は、鋼板中における分散粒子を、従来に比べて均一かつ微細に分散させて、入熱量が３００ｋＪ／ｃｍ以上となる超大入熱溶接時のＨＡＺにおいても、オーステナイト粒を微細化しＨＡＺ靭性を顕向上させることができるとされている。

[0007] 特許文献４は、良好なＨＡＺ靭性を有するＡＰＩ規格Ｘ１００以上の高強度鋼板を提供することを目的としたものである。具体的に、特許文献４の高強度鋼板は、Ｔｉ，Ｍｇ，ＲＥＭ，ＡＩ，Ｓ，Ｎ量を限定することにより、（１）０．１μｍ以下のＭｇ系酸化物を含んだＴｉＮ系微細析出物を含有させて、溶融線近傍においてもγ粒の粗大化を抑制する。さらに、この高強度鋼板は、（２）０．１μｍ以上のＴｉ、Ｍｇ、ＲＥＭを主体とする酸化物とＭｎＳとの複合体を含有させて比較的小さなγ粒内からＩＧＦを生成させることで、ＨＡＺ全域にわたって組織を微細化しＨＡＺ靭性を向上させること

ができるとされている。

[0008] 特許文献５は、良好な母材靭性および溶接熱影響部靭性を兼ね備えた非調質高張力鋼材を提案することを目的としたものである。具体的に、特許文献５の非調質高張力鋼材は、最適な酸化物系介在物の最適組成範囲として、Ｔｉ酸化物：２０～９０重量％、ＣａＯおよびＲＥＭ酸化物の合計：５～５０重量％、Al_2O_3：７０重量％以下に制御する。これによって、非調質高張力鋼材は、ノズル詰まりや有害な介在物クラスターの生成を引き起こすことなく介在物の結晶粒粗大化抑制能（ピン止め効果）を有効に利用できるので、溶接熱影響部靭性を向上させることができ、さらに、ＴｉＮ、あるいはさらにＶＮを最適分散させることにより母材の靭性と強度を向上させることができるとされている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：日本国特許第４２６１９６８号公報

特許文献2：日本国特許第４７６２４５０号公報

特許文献3：日本国特許第４０３９２２３号公報

特許文献4：日本国特開平１１－２６４０４８号公報

特許文献5：日本国特許第４１４４１２１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上述のように、特許文献１～５のそれぞれは、溶接熱に起因するＨＡＺ靭性の低下に対処することができると開示しているが、いずれの技術によっても、更なる大入熱溶接時においてＨＡＺ靭性を向上させることは困難である。

特許文献１～３に開示の技術は、酸硫化物のピンニング効果によってＨＡＺ組織の微細化を図るものであるが、酸化物起因の粒内変態による組織微細化効果については言及しておらず、更なる大入熱化に対応できる技術である

とはいえない。

[0011] また、特許文献４では、酸化物を起点とした組織変態に言及しているが、粗大酸化物等に対する対策が示されていないので、粗大酸化物の生成によってＨＡＺ靭性が低下する可能性を排除することができず、更なる大入熱化に対応できる技術であるとはいえない。

さらに、特許文献５に開示の技術は、酸硫化物のピン止め効果によってＨＡＺ組織を微細化する技術であるが、酸硫化物を起点とする組織変態制御を考慮した技術ではないので、更なる大入熱化に対応できる技術であるとはいえない。

[0012] 本発明は、上述の問題に鑑みてなされたものであり、大入熱溶接時における溶接熱影響部の靭性（ＨＡＺ靭性）に優れた鋼材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

[0013] 本発明は、上記目的を達成するために、次の手段を講じた。

即ち、本発明における課題解決のための技術的手段は、Ｃ：０．０２～０．１３％（質量％（ｍａｓｓ％）の意味。以下成分について同じ。）、Ｓｉ：０．０５～０．５％、Ｍｎ：１．０～２．５％、Ｐ：０．０３％以下（０％を含まない）、Ｓ：０．０１％以下（０％を含まない）、Ａｌ：０．００２～０．０４０％、Ｔｉ：０．００５～０．０４０％、Ｚｒ：０．０００３～０．０２０％、ＲＥＭ：０．０００３～０．０２０％、Ｃａ：０．０００３～０．００８０％、Ｎ：０．００３０～０．０１０％、Ｏ：０．０００３～０．００５０％を含有し、残部が鉄および不可避不純物からなる溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材であって、前記鋼材は、ＲＥＭ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ａｌ、ＣａおよびＳを含有する複合酸化物を含み、前記鋼材中の複合酸化物について、円相当直径で３μｍ超の酸化物が１ｍｍ^{2}あたり５．０個以下であって、かつ円相当直径が０．１～３μｍの複合酸化物について、下記式（１）を満たす複合酸化物個数が１００個／ｍｍ^{2}以上であって、さらに、下記式（１）を満たす０．１～３μｍの複合酸化物の平均組成が、Al_2O_3：２０％以

下、TiO_2：３～２０％、ZrO_2：５～５０％、ＲＥＭ酸化物：５～５０％、ＣａＯ：５～５０％、Ｓ：１～１５％であることを特徴とする。

[0014] ０．００８≦（１／ｄ）×｛ｍａｓｓ％Ｓ／（ｍａｓｓ％ＣａＯ＋ｍａｓｓ％REM_2O_3）｝≦０．２８９ ・・・（１）

（但し、ｄは個々の複合酸化物の円相当直径であって、０．１～３μｍである）

ここで、Ｎｉ：０．０５～１．５０％、Ｃｕ：０．０５～１．５０％、Ｃｒ：０．０５～１．５０％、Ｍｏ：０．０５～１．５０％のうち、少なくとも１種を含有するとよい。

[0015] また、Ｎｂ：０．００２～０．１０％、Ｖ：０．００２～０．１０％のうち少なくともいずれか一方を含有するとよい。

さらに、Ｂ：０．０００５～０．００５０％を含有するとよい。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、大入熱溶接時における溶接熱影響部の靭性（ＨＡＺ靭性）に優れた鋼材を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の実施形態による鋼材が有するＨＡＺ靭性値の測定結果を示す図である。

[図2]本実施形態による鋼材が有するＨＡＺ靭性値の測定結果を示す図である。

[図3]本実施形態による鋼材が有するＨＡＺ靭性値の測定結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下に、図面を参照しながら、本願発明の実施形態による溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材（以下、単に鋼材という）について詳細に説明する。

本実施形態による鋼材は、例えば溶接入熱量が６０ｋＪ／ｍｍを超えるような、非常に大きな溶接エネルギーの影響を受けた溶接熱影響部（ＨＡＺ，Ｈｅａｔ Ａｆｆｅｃｔｅｄ Ｚｏｎｅ）において優れた靭性を発揮する鋼

材である。以下の説明において、本実施形態による鋼材の溶接熱影響部をＨＡＺと記し、ＨＡＺにおける靭性をＨＡＺ靭性と記す。

[0019] 本実施形態による鋼材は、粒内変態の核となる複合酸化物（Ａｌ，Ｔｉ，Ｚｒ，ＲＥＭ，ＣａおよびＳを含有する酸硫化物）を、そのサイズとＳ濃度を適切に制御して所定量生成させることによって、大入熱溶接においても良好なＨＡＺ靭性を安定的に実現できる。具体的には、ＨＡＺ靭性向上に悪影響を及ぼす円相当直径が３μｍを超える粗大な複合酸化物の個数を有意に抑制すると共に、ＨＡＺ靭性向上に有用な円相当直径が０．１～３μｍで組成と粒度が適切に制御された複合酸化物の個数を所定量以上含有することを特徴とする。この特徴によって、本実施形態による鋼材は、大きな入熱量で溶接を行っても安定的に優れたＨＡＺ靭性を発揮することができる。

[0020] 上述の特徴を有する本実施形態による鋼材は、例えば、溶鋼の二次精錬において、以下に説明する化学成分組成となるように各元素を添加することで得られる。

本実施形態による鋼材（以下、単に本鋼材という）は、炭素Ｃを０．０２～０．１３％、ケイ素Ｓｉを０．０５～０．５％、マンガンＭｎを１．０～２．５％、リンＰを０．０３％以下（０％を含まない）、硫黄Ｓを０．０１％以下（０％を含まない）、アルミニウムＡｌを０．００２～０．０４０％、チタンＴｉを０．００５～０．０４０％、ジルコニウムＺｒを０．０００３～０．０２０％、希土類金属ＲＥＭを０．０００３～０．０２０％、カルシウムＣａを０．０００３～０．００８０％、窒素Ｎを０．００３０～０．０１０％、酸素Ｏを０．０００３～０．００５０％を含有し、残部が鉄および不可避不純物からなる。さらに、本鋼材は、ＲＥＭ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ａｌ、ＣａおよびＳを含有する複合酸化物を含み、本鋼材中の複合酸化物について、円相当直径で３μｍ超の酸化物が１ｍｍ^{2}あたり５．０個以下であって、かつ円相当直径が０．１～３μｍの複合酸化物について、下記式（１）を満たす複合酸化物の個数が１００個／ｍｍ^{2}以上である。

[0021] ０．００８≦（１／ｄ）×｛ｍａｓｓ％Ｓ／（ｍａｓｓ％ＣａＯ＋ｍａｓ

ｓ％ＲＥＭ$_2$Ｏ$_3$）｝≦０．２８９　・・・（１）

（但し、ｄは個々の複合酸化物の円相当直径であって、０．１～３μｍである）

さらに、上記式（１）を満たす０．１～３μｍの複合酸化物の平均組成は、Ａｌ$_2$Ｏ$_3$が２０％以下、ＴｉＯ$_2$が３～２０％、ＺｒＯ$_2$が５～５０％、ＲＥＭ酸化物が５～５０％、ＣａＯが５～５０％、Ｓが１～１５％である。

[0022] 本実施形態において、元素および成分の含有量を単に百分率「％」を用いて記載しているが、これは、質量百分率「質量％（ｍａｓｓ％）」を簡略化して記載したものであることに留意されたい。

続いて、上述した本鋼材の構成について詳細に説明する。

［炭素Ｃ：０．０２～０．１３％］

炭素Ｃは、鋼材（母材）の強度を確保するために欠くことのできない元素である。そのため、０．０２％以上、好ましくは０．０４％以上添加する。しかし、Ｃの含有量が０．１３％を超えると、ＨＡＺに島状マルテンサイト（ＭＡ）が多く生成してＨＡＺの靭性低下を招くばかりでなく、ＣＯガスの発生などに起因して溶接性にも悪影響を及ぼす。そのため、Ｃの含有量を０．１３％以下、好ましくは０．１％以下とする。

[0023] ［ケイ素Ｓｉ：０．０５～０．５％］

ケイ素Ｓｉは、脱酸作用を有すると共に、固溶強化により母材の強度向上に寄与する元素である。そのため、０．０５％以上、好ましくは０．０７％以上、より好ましくは０．１％以上添加する。しかし、Ｓｉの含有量が０．５％を超えると、鋼材の溶接性や靭性が低下するので、上限を０．５％とする。特にＨＡＺ靭性を高めるには、Ｓｉの含有量を０．３％以下とすることが推奨される。但し、Ｓｉの含有量を抑えるほどＨＡＺ靭性が向上するが、その一方で鋼材の強度が低下する場合がある。そのため、Ｓｉの含有量を０．５％以下、好ましくは０．３５％以下、より好ましくは０．２５％以下とする。

[0024] ［マンガンＭｎ：１．０～２．５％］

マンガンＭｎは、母材の強度向上に寄与する元素である。しかし、Ｍｎの含有量が１．０％を下回ると強度が低下してしまう。そのため、１．０％以上、好ましくは１．３％以上添加する。しかし、Ｍｎの含有量が２．５％を超えると、母材の溶接性が低下する。そのため、Ｍｎの含有量を２．５％以下、好ましくは２．０％以下とする。

[0025] ［リンＰ：０．０３％以下］

リンＰは、偏析し易い元素であり、特に鋼材中の結晶粒界に偏析してＨＡＺ靭性を低下させる元素である。Ｐは、通常、母材に不可避的に０．００１％程度含有されているので、Ｐの含有量を０．０３質量％以下に規定する。好ましくは０．０２％以下、より好ましくは０．０１％以下である。但し、本実施形態は、Ｐの含有量が０％である場合を含まない。

[0026] ［硫黄Ｓ：０．０１％以下］

硫黄Ｓは、Ｍｎと結合して硫化物（ＭｎＳ）を生成し、母材の靭性や板厚方向における延性を低下させる元素である。例えば、Ｓが、ランタンＬａやセリウムＣｅなどのＲＥＭと結合してＲＥＭの硫化物（例えば、ＬａＳやＣｅＳ）を生成すると、ＲＥＭ酸化物の生成が阻害されるため、ＨＡＺ靭性が低下する。しかし、Ｓは、通常、母材に不可避的に０．０００５％程度含有されているので、Ｓの含有量を０．０１％以下に規定する。好ましくは０．００８％以下、より好ましくは０．００６％以下である。但し、本実施形態は、Ｓの含有量が０％である場合を含まない。

[0027] ［アルミニウムＡｌ：０．００２～０．０４０％］

アルミニウムＡｌは、脱酸剤として作用する元素である。また、Ａｌの含有量が少ないと溶鋼が酸素で汚染されやすくなる。そのため、０．００２％以上、好ましくは０．００４％以上、より好ましくは０．００５％以上添加する。しかし、Ａｌを母材に対して過剰に添加すると、添加されたＡｌは母材中の酸化物を還元して粗大なＡｌ酸化物を形成するので、ＨＡＺ靭性が低下する。そのため、Ａｌの含有量を０．０４０％以下、好ましくは０．０２５％以下、より好ましくは０．０１５％以下とする。

[0028] ［チタンＴｉ：０．００５～０．０４０％］

チタンＴｉは、母材中にＴｉＮなどの窒化物や、Ｔｉを含む酸化物を生成し、ＨＡＺ靭性の向上に寄与する元素である。そのため、０．００５％以上、好ましくは０．０１０％以上、より好ましくは０．０１４％以上添加する。しかし、Ｔｉを母材に対して過剰に添加すると、Ｔｉの固溶強化によって母材自体が硬化しＨＡＺ靭性の低下に繋がる。そのため、Ｔｉの含有量を０．０４０％以下、好ましくは０．０３０％以下、より好ましくは０．０２５％以下とする。

[0029] ［ジルコニウムＺｒ：０．０００３～０．０２０％］

ジルコニウムＺｒは、Ｚｒを含む複合酸化物を生成してＨＡＺ靭性の向上に寄与する元素である。そのため、０．０００３％以上、好ましくは０．００５％以上、よりに好ましくは０．０００９％以上添加する。しかし、Ｚｒを母材に対して過剰に添加すると、粗大なＺｒ酸化物（ZrO_2）が生成してＨＡＺ靭性が低下する。また、粗大なＺｒ炭化物（ＺｒＣ）が生成することで、母材自体の靭性が低下する。そのため、Ｚｒの含有量を０．０２０％以下、好ましくは０．０１５％以下、よりに好ましくは０．０１０％以下とする。

[0030] ［希土類金属ＲＥＭ：０．０００３～０．０２０％］

ＲＥＭ（希土類元素）は、酸化物の生成に必要な元素である。ＲＥＭによるこれらの酸化物を含有することで、酸化物が鋼材中に微細分散し易くなる。この微細分散した酸化物が、ＨＡＺの粒内αの生成核となりＨＡＺ靭性の向上に寄与する。そのため、０．０００３％以上、好ましくは０．０００５％以上、よりに好ましくは０．０００９％以上添加する。しかし、ＲＥＭを過剰に添加すると、固溶ＲＥＭが生成して母材内で偏析するので、母材自体の靭性が劣化する。そのため、ＲＥＭの含有量を０．０２０％以下、好ましくは０．０１５％以下、よりに好ましくは０．０１０％以下とする。

[0031] 具体的にＲＥＭとは、ランタノイド元素（ＬａからＬｎまでの１５元素）およびＳｃ（スカンジウム）とＹ（イットリウム）を含む元素を意味する。

本実施形態では、これらの元素の中でもＬａ、ＣｅおよびＹよりなる群から選ばれる少なくとも１種の元素を含有することが好ましく、より好ましくはＬａおよび／またはＣｅを含有するとよい。

［カルシウムＣａ：０．０００３～０．００８０％］

カルシウムＣａは、酸化物の生成に必要な元素である。Ｃａも、ＨＡＺの粒内αの生成核となりＨＡＺ靭性の向上に寄与するので、０．０００３％以上、好ましくは０．０００５％以上、より好ましくは０．０００７％以上含有させるとよい。しかし、Ｃａを過剰に添加すると、粗大なＣａ硫化物が生成して母材の靭性が劣化する。そのため、Ｃａの含有量を０．００８０％以下、好ましくは０．００６０％以下、より好ましくは０．００３０％以下とする。

[0032] ［窒素Ｎ：０．００３０～０．０１０％］

窒素Ｎは、窒化物（例えば、ＺｒＮやＴｉＮなど）を析出する元素である。窒化物は、ピン止め効果によって溶接時のオーステナイト粒の粗大化を抑制することで、ＨＡＺ靭性の向上に寄与する。Ｎは、含有量が多いほど窒化物を形成してオーステナイト粒の微細化を促進するため、ＨＡＺ靭性の向上に有効に作用する。そのため、０．００３０％以上、好ましくは０．００４０％以上、より好ましくは０．００５０％以上添加する。しかし、Ｎの含有量が０．０１０％を超えると、固溶Ｎの量が増大して母材自体の靭性が劣化し、ＨＡＺ靭性も低下する。そのため、Ｎの含有量を０．０１０％以下、好ましくは０．００９０％以下、より好ましくは０．００８０％以下とする。

[0033] ［酸素Ｏ：０．０００３～０．００５０％］

酸素Ｏは、酸化物の生成に必須の元素であり、含有量が０．０００３％より少ないと、母材中に十分な量の酸化物が得られない。好ましくは０．００１０％以上、より好ましくは０．００１５％以上である。但し、含有量が０．００５０％より多いと、酸化物の粗大化によりＨＡＺ靭性の低下を招く。そのため、Ｏの含有量を０．００５０％以下、好ましくは０．００４０％以下、より好ましくは０．００３５％以下とする。

[0034] ここでＯの含有量は、トータル酸素量を示し、母材中の酸化物を形成しているＯと、母材中に固溶しているフリーのＯの合計量を意味している。

本鋼材は、上述の各元素を含有し、残部が鉄および不可避不純物からなる。

上述の各元素以外の残部の成分は、鉄および不可避不純物（例えば、ＭｇやＡｓ，Ｓｅなど）である。

[0035] さて、上述の元素を含有する本鋼材は、ＲＥＭ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ａｌ、ＣａおよびＳを含有する複合酸化物（酸化物および／または酸硫化物）を含む。本鋼材に含有される複合酸化物は、Ａｌ、Ｔｉ、Ｚｒ、ＲＥＭ、およびＣａの酸化物と硫化物を含むＡｌ・Ｔｉ・Ｚｒ・ＲＥＭ・Ｃａ・Ｓ系複合酸化物であるが、これら以外に、例えば、Ｍｎ、Ｓｉなどの元素や、その他の成分元素を含んでいても良い。Ａｌ・Ｔｉ・Ｚｒ・ＲＥＭ・Ｃａ系の酸化物は、鋼材との格子整合性がよく、ＨＡＺにおいて粒内組織変態（粒内変態）を促進するので、ＨＡＺの組織を微細化するのに有効である。

[0036] 本鋼材は、上述の複合酸化物について、円相当直径で３μｍ超の酸化物の個数は、本鋼材の断面において１ｍｍ^{2}あたり５．０個以下である。円相当直径で３μｍを超える複合酸化物は粗大であるため、入熱量が６０ｋＪ／ｍｍに達するような大入熱溶接においては、ＨＡＺ靭性をかえって低下させる。そのため、３μｍを超える複合酸化物の個数は５．０個／ｍｍ^{2}以下に抑える必要がある。

[0037] 一方、本鋼材は、上述の複合酸化物が、円相当直径で０．１μｍ以上３μｍ以下（以下、０．１～３μｍと表記する）の大きさであり、下記式（１）を満たし、かつその個数が本鋼材の断面において１００個／ｍｍ^{2}以上存在するように含有している。

０．００８≦（１／ｄ）×｛ｍａｓｓ％Ｓ／（ｍａｓｓ％ＣａＯ＋ｍａｓｓ％ＲＥＭ$_2$Ｏ$_3$）｝≦０．２８９　・・・（１）

（但し、ｄは個々の複合酸化物の円相当直径であって、０．１～３μｍである）

この円相当直径で０．１～３μｍの複合酸化物は、ＨＡＺにおいて粒内組織変態（粒内変態）を促進してＨＡＺ靭性を向上させるためのものであるため、以下に、円相当直径で０．１～３μｍの複合酸化物について検討する。なお、円相当直径で０．１μｍ未満の複合酸化物は、ＨＡＺ靭性の向上に殆ど寄与しないため、上記複合酸化物の個数には含めない。

[0038] 以下、円相当直径で０．１～３μｍの複合酸化物が式（１）を満たすべき理由について説明する。

まず、ＲＥＭとＣａは酸化物も硫化物も形成しうる酸硫化物形成元素である。そこで、酸硫化物形成元素（REM_2O_3とＣａＯ）の濃度に対するＳ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）が高すぎると、過剰に生成される硫化物が、酸化物とマトリックスとの整合を阻害してしまうため、複合酸化物が組織制御に寄与する能力（粒内変態能）が低下する。また、酸硫化物形成元素（REM_2O_3とＣａＯ）の濃度に対するＳ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）が低すぎる場合、硫化物生成に伴うひずみエネルギーが得られず粒内変態にとって不利となるため、粒内変態能が低下する。さらに、複合酸化物そのもののサイズ（複合酸化物の円相当直径ｄ）に起因するひずみエネルギーが粒内変態に影響を与える。

[0039] 式（１）では、これら粒内変態に影響を及ぼすと考えられる条件を考慮した第二項が示されている。ところで、この式（１）の第二項において、酸硫化物形成元素（REM_2O_3とＣａＯ）に対するＳ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）、および複合酸化物のサイズ（複合酸化物の円相当直径ｄ）には、粒内変態に貢献するひずみエネルギーを産み出すための最適範囲があり、式（１）の第二項に上限値および下限値が存在すると推察される。そこで、実験的に式（１）の第二項の上限値および下限値を求めた。

[0040] 式（１）の第二項の上限値および下限値の求め方を説明する。

まず、試作材に対して入熱量６０ｋＪ／ｍｍの溶接のＨＡＺを模擬した入熱試験を実施した。その後、入熱試験後の試作材を鏡面研磨し腐食を行い、腐食により組織を顕にして複合酸化物に起因する粒内変態の有無を調査した。

続いて、ＥＰＭＡ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｐｒｏｂｅ　ＭｉｃｒｏＡｎａｌｙｚｅｒ）にて、試作材における複合酸化物の組成とサイズを測定し、０．１～３μｍの複合酸化物について式（１）の第二項の値を算出した。

[0041] 粒内変態の有無と算出した第二項の値を表１に示す結果としてまとめ、粒内変態の有無が○印で示された（粒内変態が有った）鋼材の第二項の値に基づいて、第二項の範囲を０．００８以上０．２８９以下に設定した。

[0042] [表1]

式(1)の第二項と粒内変態有無との関係調査結果

円相当直径d [μm]	複合酸化物組成			式(1)の第二項	粒内変態の有無
	mass%S	mass%CaO	mass%REM_2O_3		
1.9	1.1	39.5	42.3	0.007	×
2.0	1.4	34.7	48.5	0.008	○
1.8	2.1	31.1	40.5	0.016	○
1.6	3.4	10.7	36.3	0.045	○
1.7	4.8	19.6	22.7	0.067	○
0.8	3.2	19.5	24	0.092	○
0.6	4.3	15.4	34.2	0.145	○
0.7	8.2	27.5	38.1	0.179	○
0.1	1.4	26.6	42.3	0.203	○
1.2	13.4	30.2	13.5	0.256	○
1.5	7.2	7.4	9.2	0.289	○
1.4	9.7	10.8	12	0.304	×
0.5	4.5	8.1	19.6	0.337	×

[0043] 円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物は、式（１）を満たした上で１００個／mm^2以上含有されるが、さらに、平均組成について、Al_2O_3が２０％以下、TiO_2が３％以上２０％以下（３～２０％）、ZrO_2が５％以上５０％以下（５～５０％）、ＲＥＭ酸化物が５％以上５０％以下（５～５０％）、ＣａＯが５％以上５０％以下（５～５０％）、Ｓが１％以上１５％以下（１～１５％）となる必要がある。

[0044] これは、酸化物組成がＨＡＺにおける酸化物と鋼材との格子整合性に影響するので、酸化物組成を上記範囲の含有量に制御しなければ、円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物がＨＡＺにおける粒内変態に寄与できない、つま

りＨＡＺの組織微細化に寄与できないからである。

以上のような化学成分組成を有する本鋼材は、板厚が約３．０ｍｍ以上の厚鋼板などを対象としており、小～中入熱溶接はもとより、入熱量が５０ｋＪ／ｍｍ以上となる大入熱溶接においてもＨＡＺ靭性の低下を防ぐことができるので、例えば橋梁や高層建造物、船舶などの大型構造物の材料として使用できる。

[0045] ［ニッケルＮｉ、銅Ｃｕ、クロムＣｒ、モリブデンＭｏ：０．０５～１．５０％］

本実施形態に係る鋼材は、上述の成分元素に加えて、ニッケルＮｉ、銅Ｃｕ、クロムＣｒ、モリブデンＭｏのうち少なくとも１種を０．０５％以上１．５０％以下（０．０５～１．５０％）含有してもよい。

Ｃｕ、Ｎｉ、Ｃｒ、Ｍｏは、いずれも本鋼材の靭性と強度を高めるのに寄与する元素であり、各々単独で、あるいは複合して添加できる。例えば、Ｃｕの添加によって靭性と強度を有効に向上させるには、Ｃｕを０．０５％以上含有させることが好ましい。しかし、Ｃｕの含有量が１．５０％を超えると、母材の強度を高め過ぎて却って母材の靭性を低下させるため、ＨＡＺ靭性も低下してしまう。従って、Ｃｕの含有量を０．０５％以上１．５０％以下に規定する。

[0046] Ｎｉ、Ｃｒ、ＭｏもＣｕと同様に、０．０５％以上含有させることが好ましいが、含有量が１．５０％を超えると、母材の強度を高め過ぎて却って母材の靭性を低下させるため、ＨＡＺ靭性も低下してしまう。従って、Ｎｉ、Ｃｒ、Ｍｏの含有量も０．０５％以上１．５０％以下に規定する。

［ニオブＮｂ、バナジウムＶ：０．００２～０．１０％］

さらに、本実施形態に係る鋼材は、ニオブＮｂ、バナジウムＶのうち少なくともいずれか一方を０．００２％以上０．１０％以下（０．００２～０．１０％）含有していてもよい。

ＮｂとＶは、いずれも炭窒化物として析出する。この炭窒化物はピン止め効果を発揮するので、溶接時におけるオーステナイト粒の粗大化が抑止され

、ＨＡＺ靭性の向上に寄与する。そこで、Ｎｂの添加によってＨＡＺ靭性を有効に向上させるには、Ｎｂを、０．００２％以上含有させるのが好ましい。しかし、Ｎｂの含有量が０．１０％を超えると、析出する炭窒化物が粗大化し、却ってＨＡＺ靭性を低下させてしまう。従って、Ｎｂの含有量を０．００２％以上０．１０％以下に規定する。

[0047] ＶもＮｂと同様に、０．００２％以上含有させるのが好ましい。しかし、Ｖの含有量が０．１０％を超えると、析出する炭窒化物が粗大化し、却ってＨＡＺ靭性を低下させてしまう。従って、Ｖの含有量を０．００２％以上０．１０％以下に規定する。

［ホウ素Ｂ：０．０００５～０．００５０％］

加えて、本実施形態に係る鋼材は、ホウ素Ｂを０．０００５％以上０．００５０％以下（０．０００５～０．００５０％）含有していてもよい。Ｂは、粒界フェライトの生成を抑制して靭性を向上させる元素である。そこで、Ｂの添加によって本鋼材の靭性を向上させるには、Ｂを０．０００５％以上含有させるのが好ましい。より好ましくは０．００１０％以上、更に好ましくは０．００１５％以上である。しかし、Ｂの含有量が０．００５０％を超えると、オーステナイト粒界にＢＮとして析出し、靭性の低下を招く。そのため、Ｂの含有量を０．００５０％以下、好ましくは０．００４０％以下、より好ましくは０．００１５％以上０．００３０％以下とする。

[0048] ［本実施形態に係る鋼材の製造］

本実施形態に係る鋼材は、例えば溶鋼の二次精錬において、上述した化学成分組成となるように各元素を添加することで得られるが、本鋼材の製造方法の一例として、後述する実施例に示す鋼の製造方法（製造条件）、つまり各元素の添加方法について説明する。

以下の説明では、真空溶解炉（容量１５０ｋｇ）を用いて鋼を溶製し、１５０ｋｇのインゴットに鋳造して冷却することで、後述する実施例および比較例に示す鋼を得た。

[0049] ［溶存酸素量の調整］

初めに、真空溶解炉で溶解された溶鋼において、複合酸化物を形成する元素（複合酸化物形成元素）を添加する前に溶存酸素量とＳ濃度を調整する。

まず、複合酸化物形成元素の添加前における溶存酸素量（ｍａｓｓ％Ｏｆ）を０．００５％以下となるように調整した。その後、溶存酸素濃度（ｍａｓｓ％Ｏｆ）と、溶鋼中のＳ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）の比（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）が、０．２≦ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ≦９．６となるようにＳ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）を調整した。

[0050] ここで、Ｓ濃度（ｍａｓｓ％Ｓ）を調整するための脱硫方法は特に限定されないが、予めＳ濃度の低い溶鋼を用いても良い。

上述の溶存酸素量とＳ濃度の根拠は次の通りである。まず、溶存酸素量が０．００５％を超えると、溶鋼中で生成する酸化物が粗大化してしまう。その上で、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が大きい場合、酸化物に対して必要な硫化物が十分に生成しない。また（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が小さい場合、所望の酸化物を得ることができないだけでなく、Ｓ濃度が高すぎるため粒内変態を阻害する水準にまで硫化物が生成してしまう。

[0051] そのため、ｍａｓｓ％Ｏｆとｍａｓｓ％Ｓの間には適正なバランスが有り、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値には適正な範囲が存在する。その範囲を実験的に求め、０．２≦ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ≦　９．６とした。

［ＡＩの添加］

次に、ＡＩは酸硫化物構成元素の一つであり、Ｔｉ酸化物を確保するために、ＴｉよりＳ先に溶鋼に添加した。

[0052] ［Ｔｉの添加］

ＡＩの添加に続いて、ＲＥＭ、Ｚｒよりも先にＴｉを溶鋼に添加した。ＴｉをＡＩよりも先に添加すると、その後の工程でＴｉ酸化物が全てＡＩによって還元されてしまうので、ＡＩを添加した後にＴｉを添加しなくてはならない。Ｔｉの添加後、２分以上１５分以下にわたって、他の元素を添加せず

に溶鋼を保持した。

[0053] これは、ＡｌとＴｉの順で添加しても、その後の溶鋼の保持時間が２分未満では、十分にＡｌとＴｉの複合酸化物が形成されず、逆に１５分を超えれば、Ａｌによる還元が進みすぎてしまうからである。つまり、ＡｌおよびＴｉの添加順は上述の式（１）に影響する。

［ＲＥＭ・Ｚｒの添加］

溶鋼を２分～１５分間保持した後に、ＲＥＭおよびＺｒを添加した。ＲＥＭとＺｒの添加順は、特に問わない。つまり、ＲＥＭ→Ｚｒでも良いし、Ｚｒ→ＲＥＭでも良いし、またＲＥＭとＺｒを同時に添加しても良い。

[0054] Ｚｒの添加量とＲＥＭの添加量について、溶存酸素量（ｍａｓｓ％Ｏｆ）が０．００５％以下で、かつ（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が０．２≦ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ≦９．６である本条件下においては、Ｚｒの添加量を１０ｐｐｍ以上１２０ｐｐｍ以下、ＲＥＭ添加量を３０ｐｐｍ以上１５０ｐｐｍ以下とする必要がある。それは、ＺｒとＲＥＭのうちいずれか一方でも過剰であると、円相当直径で３μｍを超える粗大な複合酸化物が形成されてしまうからであり、また、いずれか一方の元素でも少な過ぎると、円相当直径で０．１～３μｍの微細な複合酸硫化物が不足してしまう。つまり、ＺｒとＲＥＭの添加量は複合酸化物の粒度分布に影響する。

[0055] これに加えて、ＲＥＭは酸化物も硫化物も形成しやすい性質を有する反面、Ｚｒは酸化物を形成するが硫化物は形成しないという性質を有する。従って、酸化物と硫化物のバランスを適正化するには、ｍａｓｓ％Ｏｆとｍａｓｓ％Ｓに応じてＺｒとＲＥＭを添加する必要がある。

そこで、以下の式（２）を満足するように、Ｚｒ添加量とＲＥＭ添加量の比（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）を決定する。

[0056] ０．２７×（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）＋０．２１≦ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］≦０．４１×（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）＋０．７７ ・・・（２）

式（２）に基づいて、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が大きい、

すなわち、オキサイドが生成しやすく硫化物が生成しにくい場合には、ＺｒをＲＥＭより多めに添加する（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］の値を大きくする）。また、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が小さい、すなわち、オキサイドよりも硫化物が生成しやすい場合には、ＲＥＭをＺｒより多めに添加する（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］の値を小さくする）。この考え方に立脚し、ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］の値の上限および下限を実験的に求め、式（２）を得た。

[0057] ［Ｃａの添加と鍛造］

ＲＥＭおよびＺｒを添加した後、Ｃａを添加して鋳造した。Ｃａもオキサイドや硫化物を形成するが、それらオキサイドや硫化物の形態は、基本的に既に存在する介在物の形態に依存するので、Ｃａの添加前の介在物の形態に特に留意すべきである。

なお、脱酸元素であるＡｌ，ＲＥＭ，Ｚｒ，Ｃａは、全量を一度に溶鋼へ投入するのではなく、２回以上に分割して投入するか、少量ずつ連続的に投入するのが望ましい。

[0058] なお、溶鋼へ添加するＲＥＭやＣａ，Ｚｒ，Ｔｉの形態は特に限定されず、例えば、ＲＥＭとして、純Ｌａ，純Ｃｅ，および純Ｙ、或いは純Ｃａ，純Ｚｒ，および純Ｔｉ、更にはＦｅ－Ｓｉ－Ｌａ合金、Ｆｅ－Ｓｉ－Ｃｅ合金、Ｆｅ－Ｓｉ－Ｃａ合金、Ｆｅ－Ｓｉ－Ｌａ－Ｃｅ合金、Ｆｅ－Ｃａ合金、およびＮｉ－Ｃａ合金などを添加すればよい。また、ミッシュメタルを溶鋼へ添加してもよい。ミッシュメタルとは、希土類元素の混合物であり、具体的には、Ｃｅを４０～５０％程度、Ｌａを２０～４０％程度含有している。但し、ミッシュメタルには不純物としてＣａを含むことが多いので、ミッシュメタルがＣａを含む場合は、本実施形態で規定するＣａ含有量の範囲を満足する必要がある。

[0059] ここまでで説明した成分元素の組成（含有量）、成分元素の含有量に関する関係式及び製造条件などを、「本実施形態で規定する条件」とよぶ。

［鋳造・圧延］

上述のように成分調整された溶鋼をインゴットに鋳造した。鋳造されたインゴットを熱間圧延して加工し、厚さが３０ｍｍ～８０ｍｍの厚鋼板を製造した。実際の操業においては、成分調整して得られた溶鋼を、常法に従って連続鋳造してスラブとした後、常法に従って熱間圧延すればよい。

[0060] ［ＨＡＺ靭性値の測定］

得られた厚鋼板について、溶接熱の影響を受けたＨＡＺの靭性を評価するために、該厚鋼板から、溶接継手用試験片を採取してＶ先加工を施した後、大入熱溶接相当の６０ｋＪ／ｍｍの入熱量でのエレクトロガスアーク溶接を実施した。この溶接された試験片の表面から深さｔ／４（ｔ：試験片の板厚）の位置の溶接線（ボンド）近傍のＨＡＺに切欠きを加工したシャルピー衝撃試験片（ＪＩＳ　Ｚ　２２０２のＶノッチ試験片）を３本採取した。これら３本のＶノッチ試験片の各々に対して、－４０℃でシャルピー衝撃試験を行い、吸収エネルギー（ｖＥ－４０）を測定し、３本のＶノッチ試験片の測定結果の平均値と最小値を求めた。

[0061] この測定結果において、ｖＥ－４０の平均値が１４０Ｊを超える試験片（厚鋼板）を、ＨＡＺ靭性に優れる鋼板であると評価した。

［０．１～３μｍの複合酸化物組成の測定方法］

厚鋼板の表面から深さｔ／４（ｔ：厚鋼板の板厚）の位置から試験片を切り出し（試験片の軸心が深さｔ／４の位置を通るように採取）、圧延方向および板厚方向に平行な断面を鏡面研磨し、日本電子データム製の電子線マイクロプローブＸ線分析計（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｐｒｏｂｅ　Ｘ－ｒａｙ　Ｍｉｃｒｏａｎａｌｙｚｅｒ：ＥＰＭＡ，商品名ＪＸＡ－８５００Ｆ）を用いて、０．１～３μｍの複合酸化物組成を測定した。この時の観察条件は、加速電圧を２０ｋＶ、試料電流を０．０１μＡ、倍率５０００倍、観察面積を０．４ｍｍ^{2}以上とし、複合酸化物の中央部での成分組成を特性Ｘ線の波長分散分光により定量分析した。

[0062] つまり、定量の対象となる元素をＳｉ、Ｍｎ、Ｓ、Ａｌ、Ｔｉ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、Ｃａ、およびＯ（酸素）とし、既知物質を用いて各元素のＸ線強

度と元素濃度の関係を予め検量線として求めておき、分析対象とする複合酸化物から得られたＸ線強度と検量線に基づいて、その複合酸化物に含まれる元素量を定量した。それらの元素の存在を示すＸ線強度の比から、Ｓ以外の各元素を単独酸化物に換算して酸化物の組成を算出した。Ｓは単独の濃度のまま算出した。本実施形態では、このように単独酸化物およびＳ単体濃度として質量換算し、複数の複合酸化物について平均したものを複合酸化物の組成とした。

[0063] なお、ＲＥＭの酸化物は、ＲＥＭを記号Ｍで表すと、鋼材中にM_2O_3、M_3O_5、MO_2などの形態で存在するが、ＲＥＭの酸化物をすべてM_2O_3に換算した。Ｔｉについても同様に、全てＴｉO_2に換算した。

［複合酸化物の円相当直径と個数の測定方法］

上述したＥＰＭＡを用いた複合酸化物の組成測定において、複合酸化物の面積を測定すると共に複合酸化物を円と仮定して、測定した面積に対応する円の直径を円相当直径として算出した。円相当直径が５μｍを超える複合酸化物の個数を測定する際には、倍率を２００倍、観察面積を５０ｍｍ^{2}以上とし、それ以外の条件を、円相当直径が５μｍ以下の複合酸化物の個数を測定する場合と同じ条件に揃えて実施した。

実施例

[0064] 次に、本実施形態による鋼材の実施例を、具体的に説明する。

下の表２は、本実施形態による鋼材の実施例である鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１の化学成分組成を示している。鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１の成分組成は全て、本実施形態で規定する条件を満たしている。

[0065]

[表2]

表2

No.	鋼材の成分組成（質量%）																					
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Zr	REM			Ca	O	Ni	Cu	Cr	Mo	Nb	V	B
										La	Ce	合計									
	0.02 –0.13%	0.05 –0.5%	1.0 –2.5%	0.03%以下	0.0005 –0.01%	0.002 –0.040%	0.0030 –0.010%	0.005 –0.040%	0.0003 –0.020%	–	–	0.0003 –0.020%	0.0003– 0.0080%	0.0003– 0.0050%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.002 –0.10%	0.002 –0.10%	0.0005 –0.0050%
1	0.05	0.18	1.49	0.007	0.003	0.006	0.0065	0.017	0.0024	0.0008	0.0014	0.0022	0.0016	0.0023	0.54	1.14	0.47	0.88	0.068	0.045	0.0021
2	0.06	0.19	1.55	0.008	0.0023	0.01	0.0072	0.019	0.0019	0.0007	0.0017	0.0024	0.0015	0.0018	–	–	0.95	0.08	–	0.031	0.0045
3	0.05	0.05	1.45	0.004	0.0018	0.004	0.0062	0.016	0.0045	0.0007	0.001	0.0017	0.0065	0.0004	–	0.58	0.09	–	–	0.087	–
4	0.05	0.07	1.89	0.005	0.0033	0.01	0.0085	0.02	0.0025	0.0013	0.0006	0.0019	0.0017	0.0035	0.69	0.66	1.02	0.25	0.031	0.002	0.0008
5	0.04	0.07	1.25	0.008	0.0024	0.011	0.0061	0.017	0.001	0	0.0003	0.0003	0.0003	0.0021	–	–	–	–	–	–	–
6	0.06	0.07	1.54	0.007	0.0017	0.014	0.006	0.02	0.0019	0.001	0.0015	0.0025	0.0014	0.002	–	–	–	–	–	–	–
7	0.05	0.16	1.53	0.007	0.0025	0.011	0.0047	0.024	0.0023	0.0016	0.0015	0.0031	0.0013	0.0046	–	0.37	–	0.87	–	–	–
8	0.05	0.05	1.54	0.008	0.0019	0.009	0.0068	0.021	0.001	0.0018	0.0018	0.0036	0.0019	0.0028	1.38	–	–	0.55	0.049	–	0.0016
9	0.05	0.11	1.37	0.006	0.0019	0.008	0.0067	0.021	0.0022	0.0009	0.0011	0.002	0.0025	0.0019	0.66	–	–	–	0.002	–	–
10	0.07	0.46	1.52	0.008	0.0035	0.015	0.0057	0.005	0.0045	0.0002	0.0017	0.0019	0.0022	0.0032	0.34	–	0.5	–	–	–	–
11	0.03	0.09	1.78	0.007	0.0024	0.01	0.0074	0.019	0.0055	0.0012	0.0014	0.0026	0.0018	0.0027	–	–	–	–	–	–	–
12	0.04	0.08	1.64	0.005	0.0014	0.011	0.0059	0.019	0.002	0.001	0.0026	0.0036	0.0013	0.0029	–	–	0.24	1.23	0.07	0.055	–
13	0.05	0.14	1.43	0.007	0.0054	0.009	0.0037	0.024	0.0003	0.001	0.0008	0.0018	0.0011	0.0031	0.58	1.02	–	–	–	–	–
14	0.11	0.08	1.22	0.007	0.0095	0.017	0.0058	0.016	0.0008	0.0011	0.0008	0.002	0.0022	0.0024	0.44	–	0.86	–	–	0.081	0.0005
15	0.06	0.24	1.87	0.009	0.0005	0.011	0.0055	0.015	0.0014	0.0006	0.0011	0.0017	0.0018	0.0025	–	0.58	–	–	0.064	–	0.0012
16	0.04	0.13	1.46	0.015	0.0028	0.039	0.0035	0.007	0.0016	0.0003	0	0.0003	0.0064	0.0014	–	0.49	–	0.75	–	0.061	–
17	0.07	0.07	1.28	0.015	0.0011	0.002	0.0081	0.012	0.0014	0.0008	0.0012	0.002	0.0018	0.0018	0.25	0.74	–	1.46	0.016	–	–
18	0.13	0.06	1.52	0.003	0.0018	0.012	0.0079	0.039	0.004	0.0013	0.0009	0.0022	0.0017	0.0025	1.02	–	–	–	–	–	0.0019
19	0.05	0.08	1.46	0.007	0.002	0.008	0.0078	0.005	0.017	0.0004	0.0005	0.0009	0.0015	0.0026	0.35	1.4	–	–	0.028	–	–
20	0.06	0.07	1.56	0.009	0.0022	0.009	0.0055	0.022	0.0023	0.0089	0.0125	0.0194	0.0013	0.0035	–	0.55	0.75	1.04	–	0.009	0.0036
21	0.02	0.06	1.53	0.008	0.0017	0.021	0.0054	0.013	0.0022	0.0001	0.0002	0.0003	0.0011	0.0039	0.07	–	0.37	–	–	–	0.0007
22	0.07	0.31	1.36	0.006	0.0015	0.039	0.0047	0.021	0.0192	0.0038	0.0072	0.011	0.0017	0.0027	–	0.42	–	–	–	0.016	–
23	0.04	0.08	1.27	0.011	0.0021	0.015	0.0065	0.02	0.0003	0.0006	0.0014	0.002	0.0024	0.0016	0.77	–	–	–	0.025	–	0.0013
24	0.04	0.3	2.45	0.007	0.0036	0.016	0.0045	0.024	0.003	0.0008	0.0016	0.0024	0.0077	0.0026	0.48	0.78	0.67	–	–	–	–
25	0.05	0.07	1.58	0.029	0.0024	0.022	0.0063	0.034	0.0035	0.0015	0.0008	0.0023	0.0003	0.0032	–	–	–	0.45	–	0.092	–
26	0.06	0.15	2.2	0.007	0.0028	0.006	0.0078	0.018	0.0024	0.0015	0.0019	0.0034	0.0024	0.001	–	1.13	1.36	–	0.094	–	–
27	0.08	0.09	1.04	0.008	0.0075	0.014	0.0095	0.025	0.0015	0.0008	0.0005	0.0013	0.0021	0.0018	1.1	0.95	–	–	–	0.027	0.0045
28	0.07	0.11	1.55	0.008	0.0022	0.012	0.0066	0.018	0.0018	0.0055	0.0065	0.012	0.0014	0.0027	–	0.07	0.67	–	0.062	0.039	–
29	0.05	0.06	1.75	0.007	0.0081	0.034	0.0066	0.022	0.0023	0.0019	0.0025	0.0044	0.0013	0.0048	0.26	–	–	0.56	0.024	–	0.0015
30	0.08	0.04	1.66	0.014	0.0093	0.021	0.0066	0.017	0.003	0.001	0.0028	0.0038	0.0018	0.0024	0.34	0.45	1.36	–	–	–	0.0022
31	0.08	0.11	1.23	0.011	0.0007	0.015	0.0057	0.018	0.0018	0.0008	0.0016	0.0024	0.0022	0.0047	0.87	–	0.78	0.3	–	0.042	–

[0066] 下の表３は、本鋼材の実施例である鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１の製造条件を示している。鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１の製造条件も全て、本実施形態で

規定する条件を満たしている。成分元素の添加順序や添加方法などが複数ある場合は、備考の欄に、選択した添加順序や添加方法が示されている。

[0067] [表3]

表3

No.	複合酸化物構成元素添加前				ZrとREMの添加量				ZrとREMの添加量比:add[Zr]/add[REM]				複合酸化物形成元素の添加順序	Ti添加後の保持時間[分]		備考
	mass%Of	mass%S	mass%Of／mass%S		add[Zr][ppm]	add[REM][ppm]		下限	上限	実績				2-15分		
	0.005mass%以下	–	0.2-9.6		10—120ppm	30—150ppm		0.27×(mass%Of/mass%S)+0.21	0.41×(mass%Of/mass%S)+0.77							
1	0.0022	0.0033	0.67	○	45	90	○	0.39	1.04	0.50	○		○	5.7	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
2	0.0015	0.0028	0.54	○	50	85	○	0.35	0.99	0.59	○		○	3.1	○	
3	0.0004	0.0018	0.22	○	25	60	○	0.27	0.86	0.42	○		○	6.6	○	
4	0.0028	0.0038	0.74	○	70	70	○	0.41	1.07	1.00	○		○	7	○	
5	0.0019	0.0027	0.70	○	100	130	○	0.40	1.06	0.77	○		○	3.9	○	
6	0.0018	0.0019	0.95	○	60	65	○	0.47	1.16	0.92	○		○	12	○	
7	0.0039	0.0027	1.44	○	70	60	○	0.60	1.36	1.17	○		○	8.4	○	
8	0.0025	0.0022	1.14	○	35	50	○	0.52	1.24	0.70	○		○	7	○	REM,Zrそれぞれを分割添加した。
9	0.0013	0.0021	0.62	○	40	80	○	0.38	1.02	0.50	○		○	3	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
10	0.003	0.004	0.75	○	20	45	○	0.41	1.08	0.44	○		○	4.8	○	
11	0.0024	0.0028	0.86	○	50	45	○	0.44	1.12	1.11	○		○	10	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
12	0.0026	0.0015	1.73	○	55	75	○	0.68	1.48	0.73	○		○	8.3	○	
13	0.0027	0.0058	0.47	○	70	110	○	0.34	0.96	0.64	○		○	4.3	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
14	0.0021	0.0101	0.21	○	75	90	○	0.27	0.86	0.83	○		○	5.9	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
15	0.0018	0.0005	3.60	○	90	50	○	1.18	2.25	1.80	○		○	2.4	○	
16	0.0013	0.003	0.43	○	55	80	○	0.33	0.95	0.69	○		○	4.1	○	
17	0.0016	0.0012	1.33	○	65	90	○	0.57	1.32	0.72	○		○	3.1	○	
18	0.0022	0.0019	1.16	○	30	45	○	0.52	1.24	0.67	○		○	11	○	
19	0.0023	0.0023	1.00	○	35	65	○	0.48	1.18	0.54	○		○	12	○	
20	0.0031	0.0025	1.24	○	95	145	○	0.54	1.28	0.66	○		○	7.6	○	
21	0.0035	0.0019	1.84	○	35	30	○	0.71	1.53	1.17	○		○	5.9	○	
22	0.0035	0.0015	2.33	○	110	95	○	0.84	1.73	1.16	○		○	4.5	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
23	0.0013	0.0024	0.54	○	15	35	○	0.36	0.99	0.43	○		○	3.3	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
24	0.0022	0.0039	0.56	○	60	150	○	0.36	1.00	0.40	○		○	2.6	○	
25	0.0029	0.0024	1.21	○	75	70	○	0.54	1.27	1.07	○		○	4.9	○	
26	0.0008	0.003	0.27	○	55	145	○	0.28	0.88	0.38	○		○	9	○	
27	0.0015	0.0078	0.20	○	80	95	○	0.26	0.85	0.84	○		○	4.4	○	
28	0.0027	0.0024	1.13	○	55	85	○	0.51	1.23	0.65	○		○	9.9	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
29	0.0044	0.0124	0.35	○	70	80	○	0.31	0.92	0.88	○		○	7.5	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
30	0.0021	0.0095	0.22	○	65	125	○	0.27	0.86	0.52	○		○	5.6	○	
31	0.0048	0.0005	9.60	○	105	35	○	2.80	4.71	3.00	○		○	3.6	○	

[0068] 下の表４は、本鋼材の実施例である鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１についての、複合酸化物の粒径および個数分布、複合酸化物の平均組成、およびＨＡＺ靭性の試験結果を示している。本鋼材の実施例である鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１では全て、円相当直径で３μｍを超える複合酸化物の個数は５．０個／ｍｍ^{2}以下であり、円相当直径が０．１～３μｍの複合酸化物の個数は１００個／ｍｍ^{2}以上である。さらに鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１では全て、円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物の平均組成が、本実施形態で規定する条件を満たしている。その結果、鋼材Ｎｏ．１～Ｎｏ．３１は全て、ＨＡＺ靭性の試験結果が１４０Ｊ以上であり、優れたＨＡＺ靭性を発揮すると評価することができる。

[0069]

[表4]

表4

No.	3μm超の複合酸化物個数分布[個/mm2]	0.1～3μmの複合酸化物 個数分布[個/mm2]		平均組成[mass%]								HAZ靭性 vE-40 [J]
				Al2O3	TiO2	REM2O3	ZrO2	CaO	S	その他		
	5.0個以下	100個以上	20%以下	3-20%	5-50%	5-50%	5-50%	1-15%		平均値	140J以上
1	0.8	452	8.6	9.5	25.5	19.2	18.6	3.2	15.4	182	
2	4.6	476	3	7.1	28.7	32.2	8.2	8.6	12.2	156	
3	0.7	118	0.4	12.5	29.1	9.4	14.3	5.1	29.2	144	
4	3.2	121	5.1	11.4	37.1	7.2	24.5	4.5	10.2	158	
5	1.6	124	7.4	5.2	19.4	8.4	38.3	2.8	18.5	142	
6	4.5	611	4.8	6.3	22.5	16.2	18	8	24.2	146	
7	2.2	135	2.1	3.3	27.7	18.6	20.5	12.4	15.4	143	
8	1.4	615	5.3	5.5	21.4	21	8.2	2.7	35.9	177	
9	2.3	528	5.4	6.7	12.7	26.9	19.8	2.5	26	171	
10	4.2	334	9.4	17.5	34	14.4	12.8	2.4	9.5	145	
11	1.5	658	2.3	11.9	22.1	21.8	15.2	5.6	21.1	176	
12	4.2	289	6.5	5.4	21.4	20.7	19	5	22	142	
13	2.7	710	5.6	12.8	22.2	17.2	7.4	10.2	24.6	180	
14	0.4	460	3.5	6.7	19	28.6	19.9	14.5	7.8	160	
15	1.8	372	7	5.4	39.2	31.4	7.7	1.2	8.1	152	
16	2.2	326	19.3	5.8	17.6	21.6	8.1	4.5	23.1	149	
17	1.3	167	0.2	11.7	31.4	32.2	15.1	5	4.4	142	
18	3.9	505	2.1	19.6	21.5	18.9	6.3	5.7	25.9	167	
19	2.5	158	3.8	3.2	32	13.5	15.3	8.5	23.7	156	
20	1.7	260	3.7	6.7	48.2	13.2	23.7	2.5	2	155	
21	2.6	248	1.4	8.2	5.4	11.5	36.9	10.4	26.2	153	
22	0.3	424	8.5	9.5	13.9	47.9	9.5	3.5	7.2	156	
23	1.2	389	2.3	3.6	20	5.3	33.5	10.5	24.8	147	
24	4	682	10.5	6.8	18.6	8.1	47.8	3.5	4.7	146	
25	2.8	516	3.8	11.7	24.6	22.5	5.7	9.6	22.1	150	
26	2.4	215	6.1	3.9	25.7	38.8	10.1	6.2	9.2	149	
27	1.9	176	12.5	9.8	14.5	12.3	22.3	5.7	22.9	142	
28	1.5	561	1.2	14.5	28.7	9.7	31	2.5	12.4	146	
29	0.8	245	14.2	6	24.6	12.9	9.5	7.7	25.1	155	
30	3.6	346	5.8	6.7	23.7	29	8.2	8	18.6	143	
31	1.7	127	14.4	6.8	19.6	20.2	22.8	3.5	12.7	142	

[0070] ここで、下の表５は、本実施形態で規定する条件を満たさない比較例としての鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．６７の成分組成を示している。鋼材Ｎｏ．３２は、ＡｌのＡｌの含有量が本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．３４，３５は、Ｔｉの含有量が本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．４０，４１は、ＲＥＭの含有量が本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．４４，４５は、Ｚｒの含有量が本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．４８，４９は、Ｃａの含有量が

本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．５２，５３は、Ｓの含有量が本実施形態で規定する条件を満たしていない。その他の鋼材については、上述した成分組成を満たしている。

[0071]

[表5]

表5

鋼材の成分組成（質量%）

No.	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Zr	REM			Ca	O	Ni	Cu	Cr	Mo	Nb	V	B
										La	Ce	合計									
	0.02 –0.13%	0.05 –0.5%	1.0 –2.5%	0.03%以下	0.0005 –0.01%	0.002 –0.040%	0.0030 –0.0100%	0.005 –0.040%	0.0003 –0.0200%	-	-	0.0003 –0.0200%	0.0003– 0.0080%	0.0003– 0.0050%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.05– 1.50%	0.002 –0.10%	0.002 –0.10%	0.0005 –0.0050%
32	0.1	0.09	1.45	0.011	0.0055	0.042	0.0066	0.017	0.0024	0.0012	0.0023	0.0035	0.0039	0.0045	–	–	0.75	–	0.072	–	0.0024
33	0.09	0.15	1.16	0.011	0.0034	0.031	0.007	0.008	0.0036	0.0027	0.0025	0.0052	0.0034	0.0024	1.35	–	–	–	0.025	–	–
34	0.09	0.08	1.29	0.005	0.0061	0.008	0.0034	0.041	0.0016	0.0016	0.0025	0.0041	0.0024	0.0028	0.18	0.25	–	0.56	–	–	0.0016
35	0.05	0.26	1.23	0.007	0.0053	0.003	0.0062	0.004	0.0044	0.0039	0.0046	0.0085	0.0018	0.0026	–	–	–	–	–	0.009	–
36	0.05	0.09	1.66	0.018	0.0015	0.008	0.0046	0.031	0.0019	0.0008	0.0009	0.0017	0.0052	0.0022	0.6	0.5	–	–	0.06	–	0.0028
37	0.08	0.18	1.65	0.015	0.0009	0.015	0.008	0.007	0.0052	0.0022	0.002	0.0042	0.0019	0.0017	0.66	–	–	–	0.008	0.032	–
38	0.08	0.11	1.45	0.024	0.0015	0.018	0.0076	0.022	0.0033	0.0013	0.0022	0.0035	0.0015	0.0034	–	0.61	–	–	–	0.024	–
39	0.06	0.16	1.55	0.007	0.0024	0.019	0.0045	0.019	0.0035	0.0011	0.0017	0.0028	0.0018	0.0031	–	–	–	0.46	–	0.055	0.0015
40	0.05	0.28	1.84	0.006	0.0037	0.014	0.0057	0.021	0.0035	0.006	0.0155	0.0215	0.0035	0.0019	0.89	–	–	–	0.011	–	0.0009
41	0.02	0.02	1.04	0.006	0.0022	0.034	0.0059	0.018	0.0024	0.0001	0.0001	0.0002	0.0042	0.0028	–	0.56	0.77	–	–	–	–
42	0.04	0.3	1.29	0.008	0.0031	0.006	0.0054	0.024	0.0031	0.0066	0.0064	0.013	0.0028	0.0009	0.42	0.73	–	1.25	–	–	–
43	0.05	0.16	1.4	0.025	0.0035	0.024	0.0067	0.018	0.0008	0.0002	0.0006	0.0008	0.0015	0.0036	–	0.49	1.24	0.78	0.049	0.075	0.0021
44	0.06	0.14	1.36	0.012	0.0024	0.006	0.0063	0.006	0.022	0.006	0.0095	0.0155	0.0008	0.0024	–	–	–	0.21	–	0.015	0.003
45	0.05	0.05	1.38	0.025	0.0029	0.011	0.0062	0.017	0.0001	0.0013	0.002	0.0033	0.0027	0.0039	1.07	0.58	–	–	–	–	–
46	0.07	0.25	1.65	0.015	0.0055	0.019	0.0045	0.015	0.0014	0.0027	0.0008	0.0035	0.0017	0.0017	–	–	–	0.45	–	0.024	–
47	0.08	0.17	1.29	0.011	0.0038	0.024	0.0058	0.018	0.0025	0.0006	0.0012	0.0018	0.0023	0.0037	0.64	1.44	0.55	0.22	–	–	–
48	0.05	0.14	2.46	0.006	0.008	0.01	0.0089	0.022	0.0052	0.0003	0.0006	0.0009	0.0084	0.003	0.45	–	0.08	–	0.058	0.018	–
49	0.08	0.47	1.85	0.004	0.0012	0.018	0.0073	0.018	0.0023	0.0036	0.0024	0.006	0.0002	0.0027	–	–	0.38	–	–	–	–
50	0.11	0.22	2.31	0.008	0.0041	0.005	0.0052	0.03	0.0014	0.0011	0.0012	0.0023	0.0065	0.0042	–	0.36	–	–	–	–	0.0032
51	0.05	0.12	1.7	0.017	0.0019	0.016	0.0059	0.019	0.0015	0.0019	0.0031	0.005	0.0009	0.0017	1.15	0.28	1.39	–	0.044	–	0.0019
52	0.07	0.01	1.54	0.006	0.0105	0.025	0.0076	0.021	0.0064	0.0008	0.002	0.0028	0.0025	0.0025	0.57	–	–	0.56	–	–	0.0028
53	0.08	0.08	1.57	0.009	0.0004	0.026	0.006	0.018	0.0141	0.0018	0.0018	0.0036	0.0056	0.0018	–	0.5	–	–	–	–	0.0015
54	0.04	0.17	1.41	0.012	0.0079	0.011	0.0084	0.016	0.0026	0.0014	0.0015	0.0029	0.0024	0.0021	0.98	–	0.77	–	0.037	0.012	–
55	0.05	0.26	1.88	0.007	0.0010	0.01	0.0076	0.008	0.0076	0.0002	0.0005	0.0007	0.0023	0.0016	–	0.17	–	0.25	–	–	–
56	0.13	0.08	1.28	0.008	0.0017	0.018	0.0064	0.027	0.0192	0.0013	0.0013	0.0026	0.0075	0.0027	–	1.12	0.78	0.8	–	–	–
57	0.02	0.25	1.24	0.005	0.0088	0.008	0.0076	0.012	0.0008	0.003	0.0075	0.0105	0.0015	0.0034	0.35	–	–	–	0.08	–	–
58	0.07	0.12	1.61	0.017	0.0053	0.017	0.0045	0.02	0.007	0.0008	0.002	0.0028	0.0024	0.0018	–	0.48	–	–	–	0.05	0.0025
59	0.1	0.24	2.05	0.007	0.0021	0.009	0.0064	0.024	0.0055	0.0016	0.0046	0.0062	0.0048	0.0033	–	–	0.2	–	–	–	0.0043
60	0.08	0.23	1.42	0.007	0.0047	0.013	0.0055	0.019	0.0032	0.0029	0.0018	0.0047	0.0019	0.0013	–	–	–	–	–	–	–
61	0.04	0.07	1.68	0.009	0.0033	0.018	0.0068	0.011	0.0151	0.0028	0.0017	0.0045	0.0028	0.0017	0.87	1.12	–	0.76	0.015	–	0.0011
62	0.11	0.22	1.24	0.011	0.0025	0.025	0.0057	0.025	0.0043	0.0005	0.0013	0.0018	0.0016	0.003	–	–	0.34	–	–	0.046	–
63	0.1	0.17	1.55	0.014	0.0018	0.012	0.0071	0.017	0.0035	0.0015	0.0015	0.003	0.0018	0.0025	0.25	0.35	–	–	0.025	–	–
64	0.07	0.12	1.37	0.01	0.0032	0.007	0.0065	0.034	0.0182	0.0022	0.0054	0.0076	0.0037	0.0041	0.66	–	–	1.4	–	0.074	0.0017
65	0.05	0.15	1.86	0.008	0.0028	0.024	0.0054	0.02	0.0164	0.0027	0.0033	0.006	0.0066	0.0029	–	–	0.39	–	–	–	–
66	0.06	0.13	1.75	0.007	0.0083	0.015	0.0034	0.025	0.0039	0.0056	0.0125	0.0181	0.0005	0.0025	–	–	–	–	0.027	0.039	0.0025
67	0.08	0.06	1.44	0.019	0.0013	0.014	0.0076	0.019	0.0066	0.0049	0.0121	0.017	0.0027	0.0036	–	0.96	–	–	–	–	–

[0072] 下の表６は、本実施形態で規定する条件を満たさない鋼材Ｎｏ．３２～Ｎ

ｏ．６７の製造条件を示している。鋼材Ｎｏ．３３，３６，３７，４２，４３，４６，４７，５０，５１では、「複合酸化物形成元素の添加順序」に「×」印が付されており、複合酸化物形成元素（ＡｌとＴｉ）が上述した順序とは異なった順序で添加されたことを示している。鋼材Ｎｏ．３８，３９は、Ｔｉ添加後の溶鋼の保持時間が、本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．５２は、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値が本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．５３は、ｍａｓｓ％Ｏｆの値、（ｍａｓｓ％Ｏｆ／ｍａｓｓ％Ｓ）の値、および（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）の実績が、本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．５４，５５は、共に（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）の実績が本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．５６，５７は、ｍａｓｓ％Ｏｆの値が、本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．５８，５９は、ａｄｄ［Ｚｒ］の添加量、および（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）の実績が、本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．６０，６１は、ａｄｄ［ＲＥＭ］の添加量、および（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）の実績が、本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。鋼材Ｎｏ．６２～６７は、（ａｄｄ［Ｚｒ］／ａｄｄ［ＲＥＭ］）の実績が本実施形態で規定する条件を満たしていないことを示している。

[0073] このように、鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．６７は、表５に示す成分組成および表６に示す製造条件の一方または両方において、本実施形態で規定する条件を満たしていない。

[0074]

[表6]

表6

No.	複合酸化物構成元素添加前			ZrとREMの添加量			ZrとREMの添加量比：add[Zr]/add[REM]			実績		複合酸化物形成元素の添加順序	Ti添加後の保持時間[分]		備考
	mass%Of	mass%S	mass%Of／mass%S	add[Zr][ppm]	add[REM][ppm]		下限	上限					2−15分		
	0.005mass%以下	−	0.2−9.6	10−120ppm	30−150ppm		0.27×(mass%Of/mass%S)+0.21	0.41×(mass%Of/mass%S)+0.77							
32	0.0042	0.006	0.70	○	75	○	130	○	0.40	1.06	0.58	○	○	5.8	○	
33	0.0022	0.0042	0.52	○	70	○	90	○	0.35	0.98	0.78	○	×	12	○	
34	0.0021	0.007	0.30	○	50	○	105	○	0.29	0.89	0.48	○	○	4.2	○	
35	0.0023	0.0056	0.41	○	65	○	85	○	0.32	0.94	0.76	○	○	8.8	○	
36	0.0018	0.0018	1.00	○	70	○	130	○	0.48	1.18	0.54	○	×	4	○	
37	0.0014	0.0011	1.27	○	100	○	95	○	0.55	1.29	1.05	○	×	7.9	○	
38	0.0029	0.0018	1.61	○	40	○	85	○	0.65	1.43	0.47	○	○	15.8	×	
39	0.0025	0.0031	0.81	○	75	○	85	○	0.43	1.10	0.88	○	○	1.8	×	
40	0.0015	0.0038	0.39	○	55	○	70	○	0.32	0.93	0.79	○	○	13	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
41	0.0025	0.0022	1.14	○	20	○	35	○	0.52	1.24	0.57	○	○	3.2	○	
42	0.0008	0.0035	0.23	○	30	○	95	○	0.27	0.86	0.32	○	×	10	○	
43	0.0035	0.0035	1.00	○	45	○	85	○	0.48	1.18	0.53	○	×	7.6	○	
44	0.0024	0.003	0.80	○	90	○	130	○	0.43	1.10	0.69	○	○	12	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
45	0.0028	0.0031	0.90	○	85	○	85	○	0.45	1.14	1.00	○	○	3.2	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
46	0.0016	0.006	0.27	○	60	○	100	○	0.28	0.88	0.60	○	×	6.4	○	
47	0.0033	0.0042	0.79	○	70	○	85	○	0.42	1.09	0.82	○	×	4.9	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
48	0.0027	0.0085	0.32	○	65	○	100	○	0.30	0.90	0.65	○	○	12	○	
49	0.0025	0.0013	1.92	○	40	○	85	○	0.73	1.56	0.47	○	○	12	○	
50	0.003	0.0045	0.67	○	30	○	75	○	0.39	1.04	0.40	○	×	6.5	○	
51	0.0013	0.0022	0.59	○	35	○	50	○	0.37	1.01	0.70	○	×	10	○	Ti,REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
52	0.002	0.0155	0.13	↓	50	○	65	○	0.24	0.82	0.77	○	○	11	○	
53	0.0054	0.0005	10.80	↑	105	○	120	○	3.13	5.20	0.88	↓	○	9.2	○	
54	0.002	0.0088	0.23	○	85	○	95	○	0.27	0.86	0.89	↑	○	12	○	REM,Zr,Caそれぞれを分割添加した。
55	0.0015	0.0013	1.15	○	65	○	130	○	0.52	1.24	0.50	↓	○	14	○	
56	0.0054	0.0019	2.84	○	45	○	65	○	0.98	1.94	0.69	○	○	9.1	○	
57	0.0057	0.0095	0.60	○	25	○	60	○	0.37	1.02	0.42	○	○	2.9	○	
58	0.0017	0.0058	0.29	○	125	↑	55	○	0.29	0.89	2.27	↑	○	4.5	○	
59	0.0026	0.0022	1.18	○	5	↓	55	○	0.53	1.25	0.09	↓	○	6.5	○	
60	0.0011	0.0051	0.22	○	40	○	160	↑	0.27	0.86	0.25	↓	○	6	○	
61	0.0016	0.0037	0.43	○	45	○	45	↓	0.33	0.95	1.00	↑	○	11	○	
62	0.0024	0.0028	0.86	○	55	○	45	○	0.44	1.12	1.22	↑	○	10	○	
63	0.0023	0.0019	1.21	○	70	○	140	○	0.54	1.27	0.50	↓	○	2.2	○	
64	0.0041	0.004	1.03	○	55	○	120	○	0.49	1.19	0.46	↓	○	10	○	
65	0.0026	0.0034	0.76	○	60	○	145	○	0.42	1.08	0.41	↓	○	4.4	○	
66	0.0024	0.009	0.27	○	35	○	65	○	0.28	0.88	0.54	↑	○	5.9	○	
67	0.0035	0.0016	2.19	○	60	○	35	○	0.80	1.67	1.71	↑	○	3.4	○	

[0075] 表７は、本実施形態で規定する条件を満たさない比較例としての鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．６７の、複合酸化物の粒径および個数分布、複合酸化物の平

均組成、およびＨＡＺ靭性の試験結果を示している。鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．５５は、複合生成物の平均組成が本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．５６，５７は、円相当直径で３μｍを超える複合酸化物の個数が５．０個／ｍｍ^{2}を超えている。鋼材Ｎｏ．５８～Ｎｏ．６７は、円相当直径３μｍを超える複合酸化物の個数および円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物の個数の一方または両方が、本実施形態で規定する条件を満たしていない。鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．５５のそれぞれについて、本実施形態で規定する条件のうち満たしていない条件を「備考」に示されている。

[0076] その結果、鋼材Ｎｏ．３２～Ｎｏ．６７は全て、ＨＡＺ靭性の試験結果が１４０Ｊ未満となり、本実施形態で規定する条件を１つ以上満たさない比較例において、ＨＡＺ靭性に優れた鋼材を得ることができなかった。

[0077]

[表7]

表7

No.	3μm超の複合酸化物個数分布[個/mm2]		0.1～3μmの複合酸化物												HAZ靭性vE-40[J]	備考
		個数分布[個/mm2]		(b)平均組成[mass%]												
				Al2O3	TiO2		REM2O3		ZrO2		CaO		S	その他		
	5.0個以下	100個以上	20%以下	3-20%		5-50%		5-50%		5-50%		1-15%			平均値140J以上	
32	2.5	392	21.4	6.5		17.5		26.9		10.7		10.5	6.5	112	鋼材Al濃度、Al2O3濃度が外れている
33	3.1	183	26.3	7.1		25.8		16.7		10.5		7.3	6.3	91	Al2O3濃度が外れている
34	2.8	521	8.5	22.5		32.5		16.2		13		3.1	4.2	94	鋼材Ti濃度、TiO2濃度が外れている
35	3.6	154	4.1	2.3		32.9		14.3		23.9		4.7	17.8	103	鋼材Ti濃度、TiO2濃度が外れている
36	1.5	125	10.4	23		9.5		18.3		16.5		2.8	19.5	77	TiO2濃度が外れている
37	3.6	333	0.8	2.6		25.3		35.6		10.6		7.8	17.3	95	TiO2濃度が外れている
38	2.4	245	5.4	25		21.8		19.2		10.2		9.6	8.8	88	TiO2濃度が外れている
39	1.8	187	6.8	1.8		34		28.8		15.4		6.7	6.5	70	TiO2濃度が外れている
40	2.6	656	5.6	11.5		53.4		14.6		9.7		1.5	3.7	117	鋼材REM濃度、REM2O3濃度が外れている
41	3.3	274	14.3	11.9		4.8		38.7		16.2		9.5	4.6	94	鋼材REM濃度、REM2O3濃度が外れている
42	2.1	296	1.5	5.2		52.8		13.4		15.5		8.2	3.4	100	REM2O3濃度が外れている
43	2.7	213	7.8	6.3		4.5		39.8		24.1		8.9	8.6	95	REM2O3濃度が外れている
44	0.8	418	8.7	2.8		10.2		54.6		9.9		8.6	5.2	116	鋼材Zr濃度、ZrO2濃度が外れている
45	1.3	314	13.6	10.9		23.8		4.6		17.3		11.3	18.5	106	鋼材Zr濃度、ZrO2濃度が外れている
46	2.2	376	10	5.3		19.5		53.9		7.6		1.4	2.3	85	ZrO2濃度が外れている
47	1.9	152	12.7	16.7		25.1		4.3		20.4		3.2	17.6	85	ZrO2濃度が外れている
48	0.6	256	4.5	6.4		12.6		12.4		55.5		3.4	5.2	107	鋼材Ca濃度、CaO濃度が外れている
49	1.7	301	7.1	6.5		35.3		20.3		4.7		9.2	16.9	100	鋼材Ca濃度、CaO濃度が外れている
50	3.4	205	10.4	7.7		9.9		15.4		52.3		3.6	0.7	68	CaO濃度が外れている
51	3	633	11.4	8.2		25.9		29.8		4.1		12.5	8.1	85	鋼材S濃度、複合酸化物のS濃度が外れている
52	1.9	229	7.3	9.6		15.6		29.5		11.8		16.5	9.7	86	鋼材S濃度、複合酸化物のS濃度が外れている
53	4.1	271	8.8	15.3		16.8		27.8		18.1		0.6	12.6	59	複合酸化物のS濃度が外れている
54	2.2	584	8.4	6.8		22.1		21.2		18.8		15.7	7	90	複合酸化物のS濃度が外れている
55	1.1	153	11.5	11.7		35.1		15.6		10.6		0.3	15.2	88	複合酸化物のS濃度が外れている
56	5.2	515	9.2	3.9		30.1		18.8		22.5		8.4	7.1	102	3μm超の複合酸化物が多い
57	6.5	243	8.6	9.7		21.8		19.7		16.6		7.8	15.8	87	3μm超の複合酸化物が多く、0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
58	5.8	90	8.1	7.5		18.6		21.5		18.4		9.2	16.7	45	3μm超の複合酸化物が多く、0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
59	3.5	92	2.1	14		38.7		14.4		9.7		5	16.1	125	0.1～3μmの複合酸化物が多く、0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
60	7.4	85	6.9	6.7		19.2		26.5		13.4		10.3	17	67	3μm超の複合酸化物が多く、0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
61	1.4	87	12.5	6.8		21.6		20.5		17.8		4.2	16.6	71	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
62	4.3	69	9.4	15.4		10.2		33.5		12.6		11.5	7.4	65	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
63	1.8	60	5.6	6.3		24.8		22.2		12.5		12.9	15.7	87	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
64	0.9	55	2.3	9.5		16.2		28.4		15.6		10.9	17.1	100	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
65	4.2	48	7.5	11.4		14.2		13.9		35.6		11.6	5.8	49	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
66	2.7	95	5	8.4		27.8		25.1		17.7		2.8	13.2	104	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない
67	3.5	77	2.9	14.9		32.5		14.8		9.4		6.2	19.3	66	0.1～3μmの複合酸化物個数が少ない

[0078] 図１～図３を参照しながら、表４に示す本実施形態による鋼材のＨＡＺ靭

性と表７に示す比較例のＨＡＺ靭性を比較する。

図１は、表４に示す本実施形態による鋼材のＨＡＺ靭性と、表７に示す比較例の鋼材Ｎｏ．５９，６１～６７のＨＡＺ靭性を示すグラフである。図１に示す全ての実施例および比較例において、円相当直径３μｍを超える複合酸化物の個数は５．０個／ｍｍ^{2}未満であるが、比較例の鋼材Ｎｏ．５９，６１～６７は、円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物の個数が１００個に満たなかった例であり、いずれにおいても、ＨＡＺ靭性の試験結果が１４０Ｊを大きく下回っている。

[0079] 図２は、表４に示す本実施形態による鋼材のＨＡＺ靭性と、表７に示す比較例の鋼材Ｎｏ．３２～５５のＨＡＺ靭性を示すグラフである。図１に示す全ての実施例および比較例において、円相当直径３μｍを超える複合酸化物の個数は５．０個／ｍｍ^{2}未満であり、円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物の個数が１００個以上であるが、比較例の鋼材Ｎｏ．３２～５５は、複合酸化物の平均組成が本実施形態で規定する条件を満たさなかった例であり、いずれにおいても、ＨＡＺ靭性の試験結果が１４０Ｊを大きく下回っている。

[0080] 図３は、表４に示す本実施形態による鋼材のＨＡＺ靭性と、表７に示す比較例の鋼材Ｎｏ．５６，５７のＨＡＺ靭性を示すグラフである。図３に示す全ての実施例および比較例において、円相当直径０．１～３μｍの複合酸化物の個数は１００個以上であるが、比較例の鋼材Ｎｏ．５６，５７は、円相当直径３μｍを超える複合酸化物の個数が５．０個／ｍｍ^{2}以上となった例であり、いずれにおいても、ＨＡＺ靭性の試験結果が１４０Ｊを大きく下回っている。

[0081] 上述のとおり、本実施形態で規定した条件を満たす構成の鋼材であれば、大入熱溶接においても優れたＨＡＺ靭性を発揮することができる。

なお、今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。特に、今回開示された実施形態において、明示的に開示されていない事項、例えば、運転条件や操業条件、各種パラ

メータ、構成物の寸法、重量、体積などは、当業者が通常実施する範囲を逸脱するものではなく、通常の当業者であれば、容易に想定することが可能な値を採用している。

[0082] 例えば、本鋼材を二次精錬において製造すると説明したが、転炉や電気炉を用いて製造しても、同様のＨＡＺ靭性を発揮する鋼材を得ることができる。従って、転炉や電気炉を用いた本鋼材の製造も本発明の技術的範囲に包含される。

[0083] 本出願は、２０１３年３月２２日出願の日本特許出願（特願２０１３－０６０４５２）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0084] 本発明の鋼板は、大入熱溶接であっても優れたＨＡＺ靭性を実現することから、造船、建築、橋梁等の溶接構造物用として好適である。

請求の範囲

[請求項1] Ｃ　：０．０２～０．１３％（質量％（ｍａｓｓ％）の意味。以下成分について同じ。）、

Ｓｉ：０．０５～０．５％、

Ｍｎ：１．０～２．５％、

Ｐ　：０．０３％以下（０％を含まない）、

Ｓ　：０．０１％以下（０％を含まない）、

Ａｌ：０．００２～０．０４０％、

Ｔｉ：０．００５～０．０４０％、

Ｚｒ：０．０００３～０．０２０％、

ＲＥＭ：０．０００３～０．０２０％、

Ｃａ：０．０００３～０．００８０％、

Ｎ　：０．００３０～０．０１０％、

Ｏ　：０．０００３～０．００５０％を含有し、残部が鉄および不可避不純物からなる鋼材であって、

前記鋼材は、ＲＥＭ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ａｌ、ＣａおよびＳを含有する複合酸化物を含み、前記鋼材中の複合酸化物について、

円相当直径で３μｍ超の酸化物が１ｍｍ^{2}あたり５．０個以下であって、

かつ円相当直径が０．１～３μｍの複合酸化物について、下記式（１）を満たす複合酸化物個数が１００個／ｍｍ^{2}以上であって、

さらに、下記式（１）を満たす０．１～３μｍの複合酸化物の平均組成が、Al_2O_3：２０％以下、TiO_2：３～２０％、ZrO_2：５～５０％、ＲＥＭ酸化物：５～５０％、ＣａＯ：５～５０％、Ｓ：１～１５％であることを特徴とする溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材。

$$0.008 \leqq (1/d) \times \{mass\%S / (mass\%CaO + mass\%REM_2O_3)\} \leqq 0.289 \quad \cdots (1)$$

（但し、ｄは個々の複合酸化物の円相当直径であって、０．１～３μｍである）

[請求項2] Ｎｉ：０．０５～１．５０％、

Ｃｕ：０．０５～１．５０％、

Ｃｒ：０．０５～１．５０％、

Ｍｏ：０．０５～１．５０％、

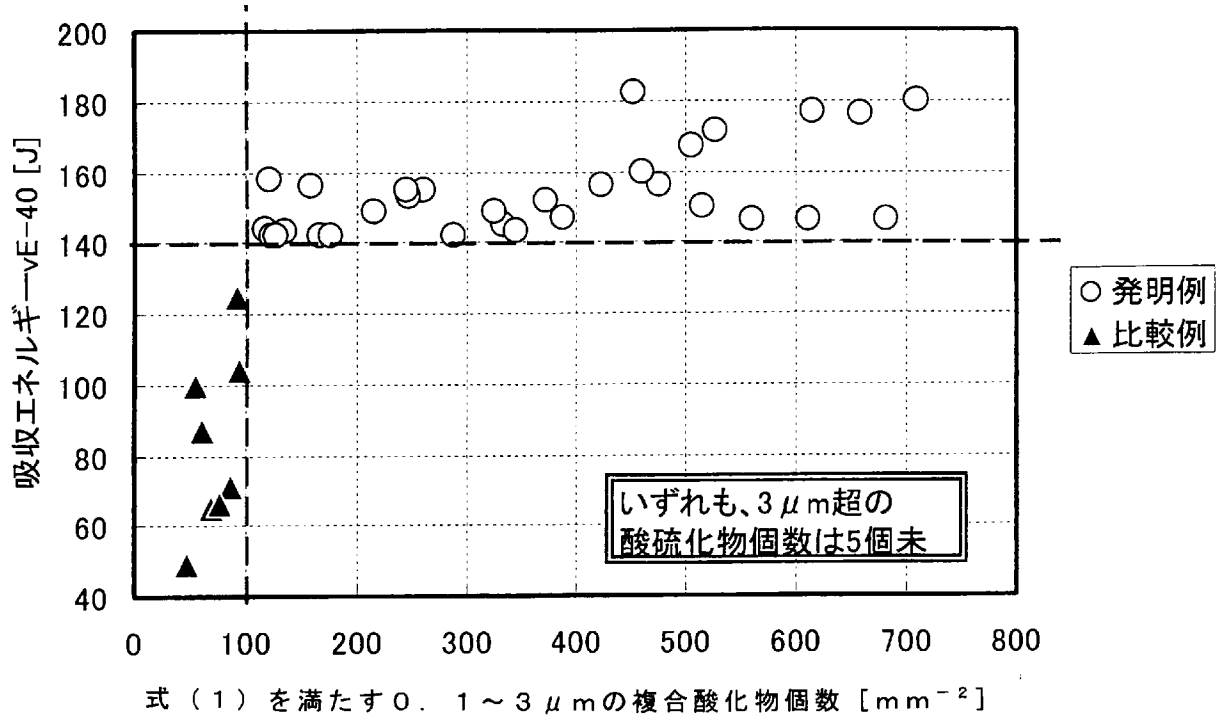
Ｎｂ：０．００２～０．１０％、

Ｖ　：０．００２～０．１０％、

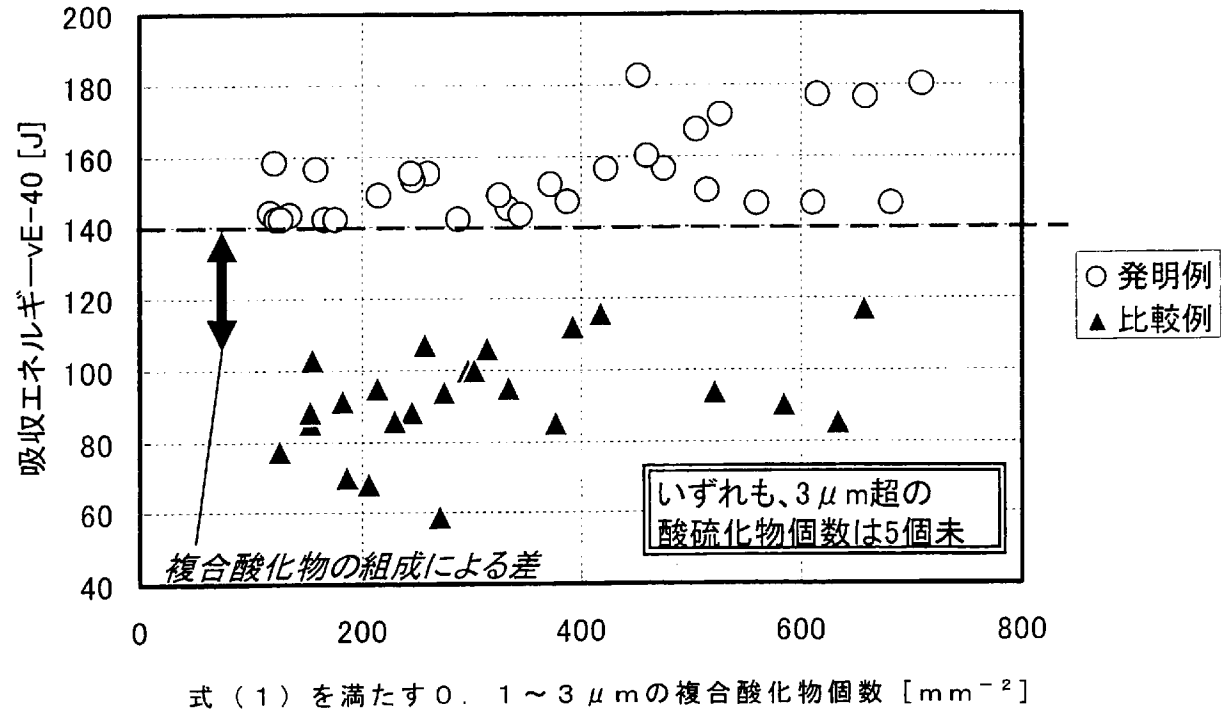
Ｂ　：０．０００５～０．００５０％

のうち、少なくとも１種を含有することを特徴とする請求項１に記載の溶接熱影響部の靭性に優れた鋼材。

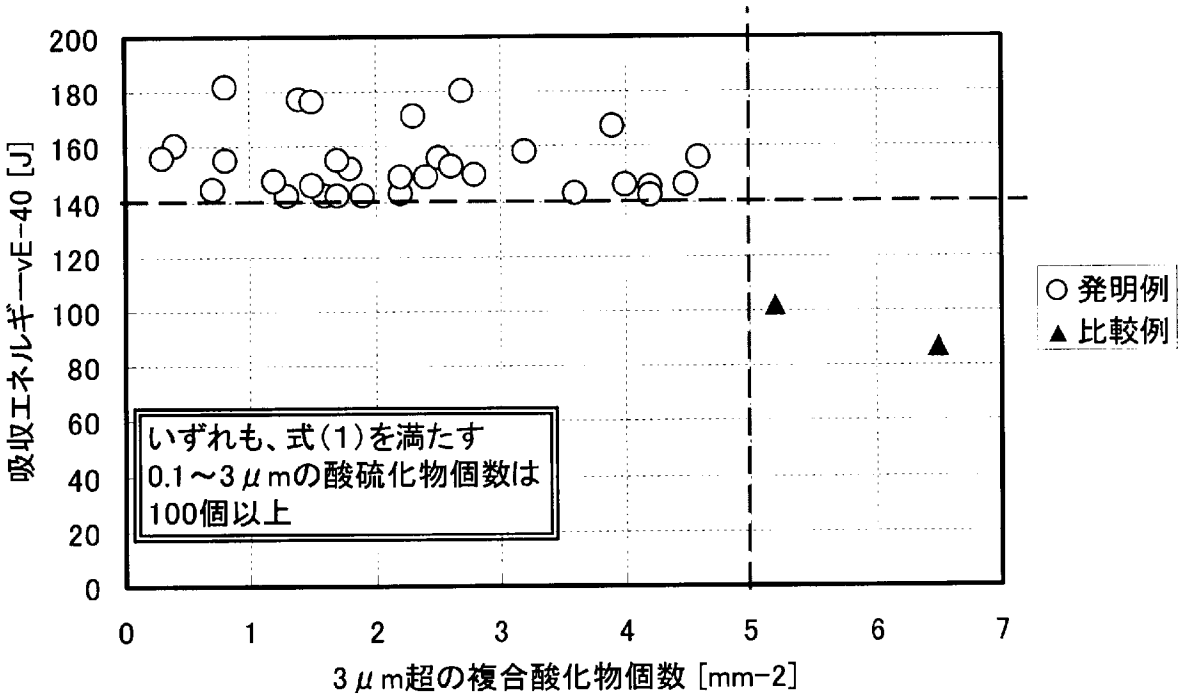
[図1]


吸収エネルギーvE-40 [J]
200
180
160
140
120
100
80
60
40
0
100
200
300
400
500
600
700
800
○ 発明例
▲ 比較例
いずれも、3μm超の
酸硫化物個数は5個未
式（1）を満たす0．1～3μmの複合酸化物個数［mm⁻²］

[図2]


吸収エネルギーvE-40 [J]
200
180
160
140
120
100
80
60
40
0
200
400
600
800
○ 発明例
▲ 比較例
いずれも、3μm超の
酸硫化物個数は5個未
複合酸化物の組成による差
式（1）を満たす0．1～3μmの複合酸化物個数［mm⁻²］

[図3]


200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
吸収エネルギーvE-40 [J]
0
1
2
3
4
5
6
7
3μm超の複合酸化物個数 [mm-2]
いずれも、式(1)を満たす
0.1～3μmの酸硫化物個数は
100個以上
○ 発明例
▲ 比較例

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/057205

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C38/00(2006.01)i, *C22C38/14*(2006.01)i, *C22C38/58*(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)
C22C38/00, C22C38/14, C22C38/58

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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	JP 2012-162797 A (Kobe Steel, Ltd.), 30 August 2012 (30.08.2012), claims; paragraphs [0031] to [0129]; examples & WO 2012/014998 A1	1,2
A	JP 2009-138255 A (Kobe Steel, Ltd.), 25 June 2009 (25.06.2009), claims; paragraphs [0015] to [0047]; examples & KR 10-2009-0049530 A & CN 101435051 A	1,2
A	JP 2011-219797 A (Kobe Steel, Ltd.), 04 November 2011 (04.11.2011), entire text (Family: none)	1,2

☒ 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 22 April, 2014 (22.04.14)	Date of mailing of the international search report 28 April, 2014 (28.04.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/057205

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 2011-127220 A (Kobe Steel, Ltd.), 30 June 2011 (30.06.2011), entire text & KR 10-2011-0055428 A & CN 102061428 A	1,2
A	JP 2011-38180 A (Kobe Steel, Ltd.), 24 February 2011 (24.02.2011), entire text & KR 10-2011-0007050 A & CN 101956132 A	1,2
A	JP 2010-209433 A (Kobe Steel, Ltd.), 24 September 2010 (24.09.2010), entire text & KR 10-2010-0102557 A & CN 101831588 A	1,2
A	JP 2009-197267 A (Kobe Steel, Ltd.), 03 September 2009 (03.09.2009), entire text & KR 10-2009-0090254 A & CN 101514428 A	1,2
A	JP 2009-179844 A (Kobe Steel, Ltd.), 13 August 2009 (13.08.2009), entire text & KR 10-2009-0083844 A & CN 101497962 A	1,2
A	JP 2012-197506 A (Nippon Steel Corp.), 18 October 2012 (18.10.2012), entire text & KR 10-2013-0036769 A & CN 103080358 A & CA 2808458 A & US 2013/0142688 A1 & EP 2592167 A1 & WO 2012/115181 A1	1,2

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０５７２０５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C38/00(2006.01)i, C22C38/14(2006.01)i, C22C38/58(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.　C22C38/00, C22C38/14, C22C38/58

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	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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	JP 2012-162797 A（株式会社神戸製鋼所）2012.08.30、特許請求の範囲、【００３１】－【０１２９】、実施例 & WO 2012/014998 A1	１，２
A	JP 2009-138255 A（株式会社神戸製鋼所）2009.06.25、特許請求の範囲、【００１５】－【００４７】、実施例 & KR 10-2009-0049530 A & CN 101435051 A	１，２
A	JP 2011-219797 A（株式会社神戸製鋼所）2011.11.04、全文（ファミリーなし）	１，２

☑　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	国際調査報告の発送日
２２．０４．２０１４	２８．０４．２０１４

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　３１３４
松本　要
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 2011-127220 A (株式会社神戸製鋼所) 2011.06.30、全文 & KR 10-2011-0055428 A & CN 102061428 A	１，２
A	JP 2011-38180 A (株式会社神戸製鋼所) 2011.02.24、全文 & KR 10-2011-0007050 A & CN 101956132 A	１，２
A	JP 2010-209433 A (株式会社神戸製鋼所) 2010.09.24、全文 & KR 10-2010-0102557 A & CN 101831588 A	１，２
A	JP 2009-197267 A (株式会社神戸製鋼所) 2009.09.03、全文 & KR 10-2009-0090254 A & CN 101514428 A	１，２
A	JP 2009-179844 A (株式会社神戸製鋼所) 2009.08.13、全文 & KR 10-2009-0083844 A & CN 101497962 A	１，２
A	JP 2012-197506 A (新日本製鐵株式会社) 2012.10.18、全文 & KR 10-2013-0036769 A & CN 103080358 A & CA 2808458 A & US 2013/0142688 A1 & EP 2592167 A1 & WO 2012/115181 A1	１，２