

(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2月13日(13.02.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/024445 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 3/00 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01) *G01N 3/08* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/004682
- (22) 国際出願日: 2013年8月2日(02.08.2013)
- (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 2012-173940 2012年8月6日(06.08.2012) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区千代田二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 半田 恒久 (HANDA, Tsunehisa); 〒1000011 東京都千代田区千代田二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 伊木 聡 (IGI, Satoshi); 〒1000011 東京都千代田区千代田二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 大井 健次 (OI, Kenji); 〒

1000011 東京都千代田区千代田二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).

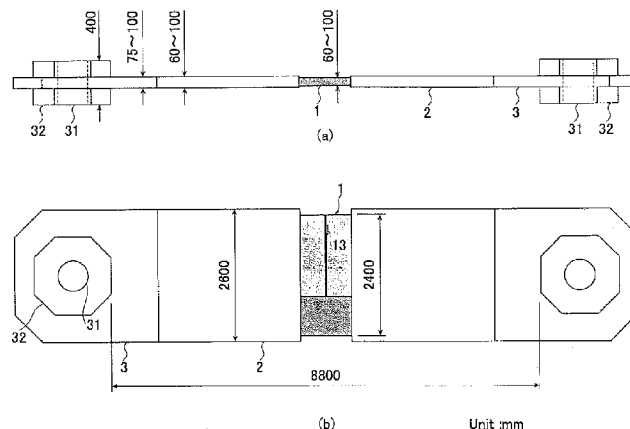
- (74) 代理人: 熊坂 晃, 外 (KUMASAKA, Akira et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目7番1号 J F E 商事ビル6階 J F E テクノリサーチ株式会社知的財産事業部内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR EVALUATING LONG BRITTLE CRACK ARRESTING ABILITY IN THICK STEEL PLATE, AND TESTING DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING THICK STEEL PLATE USING SAME

(54) 発明の名称: 厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法、それに用いる試験装置および厚鋼板の製造方法

[図7]



(57) Abstract: Provided is a testing device and a method for evaluating long brittle crack arresting ability that is appropriate for an actual ship of thick steel plate (mainly thick steel plate having a thickness of at least 50 mm), the thick steel plate having excellent brittle crack arresting ability and being suitable for use in large container ships, bulk carriers, etc. When a tensile load is applied by a tensile tester in the direction perpendicular to the width of a large test sample having a width of at least 1.5 m, and long brittle crack arresting ability is evaluated for a long brittle crack of length 1 m or greater, a transmitting part for transmitting the tensile load from the tensile tester to the large test sample has thickened parts having a thickness at least 2.5 times that of the large test sample on either side of the center in the width of the large test sample spaced apart at least 2.8 times, preferably at least 4.1 times, the width of the large test sample, and the tensile load from the tensile tester is applied in positions on either side of the center of the large test sample in the direction perpendicular to the width by the thickened parts. A testing device having the transmitting part.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/024445 A1



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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

大型コンテナ船やバルクキャリアーなどに用いて好適な脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板（主には板厚 50 mm 以上の厚鋼板）の実船相当の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する方法ならびに試験装置を提供する。 1. 5 m 以上の幅を有する大型試験片の幅直角方向に引張試験機で引張荷重を負荷して、き裂長 1 m 以上の長大脆性き裂に対する長大脆性き裂伝播停止性能を評価する際、大型試験片に引張試験機からの引張荷重を伝達する伝達部が、大型試験片の厚さの 2.5 倍以上となる増厚部を大型試験片の幅の 2.8 倍以上、より好ましくは 4.1 倍以上となる間隔で、大型試験片の幅中心を挟んで有し、引張試験機からの引張荷重が、増厚部で大型試験片の幅直角方向の中心を挟んだ位置に負荷される。伝達部を有する試験装置。

明 細 書

発明の名称：

厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法、それに用いる試験装置および厚鋼板の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、大型コンテナ船 (Mega-container carrier) やバルクキャリアー (bulk carrier) などの製造に好ましく使用される厚鋼板 (steel plate) (主には板厚 50 mm 以上の厚鋼板) について、実船相当の長大脆性き裂のき裂伝播停止性能 (long brittle crack arrestability) を評価する方法ならびに試験装置に関する。

背景技術

[0002] コンテナ船やバルクキャリアーは、積載能力 (carrying capacity) の向上や荷役効率 (cargo handling efficiency) の向上等のため、上部開口部 (upper aperture) を大きくとった構造となっている。このため、船体の剛性 (rigidity) および縦強度 (longitudinal strength) を確保するために、これらの船では特に船体外板 (outer plate of vessel's body) を厚肉化する必要がある。

[0003] 近年、コンテナ船は大型化し、6,000～20,000 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) の大型船では船体外板の板厚は 50 mm 以上となる。板厚が 50 mm 以上になると、板厚効果 (thickness effect) により破壊靱性 (fracture toughness) が低下することに加え、溶接入熱 (welding heat input) もより大きくなるため、溶接部 (welded part) の破壊靱性が一層低下する傾向にある。なお、TEU は、長さ 20 フィートのコンテナに換算した個数を表し、コンテナ船の積載能力の指標を示している。

[0004] 船舶 (ships) やラインパイプ (linepipe) に使用される鋼板 (主に板厚が 50 mm 未満の比較的薄手の鋼材) に対しては、TMCP (Thermo-Mechanical-Control-Process) 法により細粒化を図り、低温靱性 (low-temperature toughness) を向上させて、優れた脆性き裂伝播停止性能 (brittle crack arrestabil

ity)を付与することができる。

[0005] 合金コスト(alloy cost)を上昇させることなく、脆性き裂伝播停止性能を向上させる手段として、鋼材の表層部(surface part)の組織(microstructure)を超微細化する技術が提案されている。例えば、特許文献1には、脆性き裂が伝播する際に、鋼材表層部に発生するシアリップ(shear-lips)(塑性変形領域(plastic deformation area))が脆性き裂伝播停止性能の向上に効果があることに着目し、シアリップ部分の結晶粒を微細化させて、伝播する脆性き裂が有する伝播エネルギー(propagation energy)を吸収させる方法が開示されている。

[0006] 特許文献1では、鋼板を熱間圧延後、制御冷却(controlled cooling)により表層部分を A_{r3} 変態点以下に冷却し、その後制御冷却を停止して表層部分を変態点以上に復熱させる工程を1回以上繰り返して行い、この間に鋼材に圧下を加える。特許文献1では、このような方法を採用することで、繰り返し変態させ又は加工再結晶(recrystallization due to deformation)させて、表層部分に超微細なフェライト組織(ferrite structure)又はベイナイト組織(bainite structure)を生成させる。

[0007] 特許文献2では、フェライトーパールライト(pearlite)を主体のミクロ組織(microstructure)とする鋼材において、両表面部は、円相当平均粒径(average of equivalent circle diameter)が $5\mu\text{m}$ 以下、アスペクト比(aspect ratio)が2以上のフェライト粒を有するフェライト組織を50%以上含有する層で構成されている。更に、特許文献2には、仕上げ圧延中の1パス当りの最大圧下率(maximum rolling reduction)を12%以下にすることで局所的な再結晶現象(recrystallization phenomenon)を抑制し、フェライト粒径のバラツキ(variation)を抑えれば、脆性き裂伝播停止性能の向上という優れた効果を得られることが開示されている。

[0008] 特許文献3には、塑性変形(plastic deformation)を受けた後の耐脆性き裂伝播性能に優れた鋼材として、以下の(a)～(d)に述べる条件を採用することによって製造される、結晶粒内にサブグレイン(sub-grain)を形成させ

た微細フェライトを主組織とする鋼材が開示されている。特許文献3では、鋼板表層の冷却および復熱などの複雑な温度制御(temperature control)を必要とせずに、塑性変形を受けた後の脆性き裂伝播停止性能を向上させる。

[0009] (a) 微細なフェライト結晶粒を確保する圧延条件、(b) 表面からの深さが鋼材板厚の5%以上の部分に微細フェライト組織を生成させる圧延条件、(c) 微細フェライトに集合組織を発達させるとともに加工(圧延)により導入した転位(dislocation)を熱的エネルギー(thermal energy)により再配置しサブグレインを形成させる圧延条件、(d) 形成した微細なフェライト結晶粒と微細なサブグレイン粒の粗大化を抑制する冷却条件。

[0010] また、特許文献1～3と異なる技術思想(technological thought)として特許文献4には、集合組織(texture)を発達させることにより、鋼材の破壊面上にセパレーション(separation)を板厚方向と平行な方向に発生させ、脆性き裂先端の応力を緩和させることにより、耐脆性き裂伝播性能を高める方法が開示されている。そして、制御圧延により(110)面X線強度比(X-ray intensity ratio)を2以上とし、かつ円相当径(equivalent circle diameter)20 μ m以上の粗大粒を10%以下とすることが特許文献4に記載されている。

[0011] 特許文献5には、溶接構造用鋼が開示されており、この溶接構造用鋼を用いれば、溶接継手部(welded joint)における脆性き裂伝播停止性能を高めることができる。具体的に、特許文献5には、上記溶接構造用鋼として、板厚内部においての圧延面での(100)面のX線面強度比が1.5以上を有することを特徴とする鋼板が開示されている。そして、この鋼板であれば、集合組織発達により、応力負荷方向(stress loading direction)に垂直な方向に対して、き裂伝播方向(crack propagation direction)を変化させて、脆性き裂を溶接継手部から母材側に誘導し、継手としての脆性き裂伝播停止性能を向上させることが特許文献5に記載されている。

[0012] また、特許文献6には、板厚中央部における圧延面での(211)面のX線強度比が1.3以上、かつ板厚1/4部における圧延面での(100)面

X線強度比が1.5以上、板表層部における圧延面での(100)面X線強度比が1.5以上を有することを特徴とする鋼板が開示されている。そして、この鋼板であれば、集合組織発達により、T継手(T-joint)等を介し鋼板表面から突入する脆性き裂先端近傍にクラック(crack)が発生し、そのクラックがき裂伝播抵抗として作用し、板厚方向に伝播する脆性き裂に対する脆性き裂伝播停止性能が向上することが特許文献6に記載されている。

[0013] 一方、船体構造(hull structure)においては、万一溶接部から脆性破壊(brittle fracture)が発生した場合にも、脆性き裂の伝播を停止させ船体分離を防止することが必要と考えられている。板厚50mm未満の造船用鋼板溶接部の脆性き裂伝播挙動については、日本造船研究協会(The Shipbuilding Research Association of Japan)第147委員会において、実験的に検討がなされている。

[0014] 第147委員会では、溶接部にて強制的に発生させた脆性き裂の伝播経路、伝播挙動を実験的に調査した結果、溶接部の破壊靱性(fracture toughness)がある程度確保されていれば、溶接残留応力(welding residual stress)の影響により脆性き裂は溶接部から母材側に逸れやすいことが確認された。また、第147委員会では、溶接部に沿って脆性き裂が伝播した例も複数確認された。

[0015] このことは、脆性破壊が溶接部に沿って直進伝播する可能性が無いとはいえないことを示唆している。しかし、第147委員会で適用した溶接と同等の溶接を板厚50mm未満の鋼板に適用して建造された船舶が何ら問題なく就航(actual service)しているという多くの実績がある。この多くの実績に加え、靱性が良好な鋼板母材(造船E級鋼など)は、脆性き裂を停止する能力が十分にあるとの認識から、造船用鋼材溶接部の脆性き裂伝播停止性能は船級規則(Rules and Guidance for the survey and construction of steel ships)等には要求されてこなかった。

[0016] しかしながら、最近の6,000TEUを超える大型コンテナ船では鋼板の板厚は50mmを超える。板厚が50mmを超えると、板厚効果により破

壊靱性が低下することに加え、溶接入熱もより大きくなるため、溶接部の破壊靱性が一層低下する傾向にある。

[0017] 最近、このような厚肉大入熱溶接継手(large heat input welded joint of heavy gauge steel plate)では、溶接部から発生した脆性き裂は、母材側に逸れずに直進し長大化(long)し、骨材(stiffeners)(あるいは、補強材ともいう。)等の鋼板母材部でも停止しないことが実験的に示されている(非特許文献1)。このことは、50mm以上の板厚の鋼板を適用した船体構造の安全確保の上で大きな問題となっている。

[0018] このような船体の安全性確保を評価する試験として、長大ESSO(large-scale duplex ESS0)試験がある。この長大ESSO試験には、評価方法の相違や試験装置の制約などにより試験結果が変化し、必ずしも実船に相当する長大脆性き裂伝播停止性能が評価されていないという問題がある。

[0019] 上記特許文献1～6記載の技術による鋼板の脆性き裂伝播停止性能(脆性き裂伝播停止靱性)を評価する試験法としては、幅500mm程度の試験片を用いる二重引張試験およびESSO試験等の試験法があり、鋼板性能を正しく評価するため試験方法の詳細が定められている(日本溶接協会(The Japan Welding Engineering Society)の鋼種認定試験方法(steel grade qualified method)、日本海事協会(Nippon Kaiji Kyokai)の脆性き裂アレスト設計指針(guidelines on brittle crack arrest design)のKca試験方法(Kca test method))。

[0020] さらに、これらの鋼板を実際に構造物に適用する場合には、長さ1m以上の長大脆性き裂に対する性能を、幅1.5m以上の長大ESSO試験などの超大型試験(very large test)により実証することが要求される場合があるが、試験方法については、詳細には定められていない。

先行技術文献

特許文献

[0021] 特許文献1：特開平4－141517号公報

特許文献2：特開2002－256375号公報

特許文献3：特開平 1 1－2 5 6 2 2 8 号公報

特許文献4：特開平 1 0－8 8 2 8 0 号公報

特許文献5：特開平 6－2 0 7 2 4 1 号公報

特許文献6：特開 2 0 0 8－2 1 4 6 5 2 号公報

非特許文献

- [0022] 非特許文献1：山口ら：「超大型コンテナ船 (Mega-container carrier) の開発—新しい高強度極厚鋼板 (new high strength heavy gauge steel plate) の実用—」、日本船舶海洋工学会誌、3、(2005)、P70.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0023] 上記特許文献 1～6 記載の技術には、実船相当の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する方法や試験装置については記載がない。したがって、特許文献 1～6 に記載の技術を用いて、実船相当の安全性評価という課題を解決することができない。また、上述した特許文献 1～6 記載の鋼板は、長大化した脆性き裂伝播停止性能に関するものではない。したがって、特許文献 1～6 に記載の技術を用いても、非特許文献 1 で明らかにされた課題を解決することができない。
- [0024] そこで、本発明は、実船相当の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する方法、試験装置および厚鋼板の製造方法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

- [0025] 本発明者らは、引張試験機(tensile testing machine)の伝達部(transfer part) (試験機のタブ板(tab plate)および試験機のピンチャック(pin-chuck)で構成される)における増厚部(more thicker part)の厚さとその間隔を変化させた動的 F E M 解析(dynamic finite element method analysis)により、実船相当(full-scale)の長大脆性き裂伝播性能を模擬できる長大 E S S O 試験の評価方法、試験装置について検討した。その結果、増厚部の厚さとその

間隔を所定の値とすることで、応力反射（応力波の反射）の無い実船に相当する状況が再現可能であることを知見した。

[0026] 本発明で、長大脆性き裂は、隣接する他の鋼板から突入する長さ 1 m 以上の脆性き裂とする。

[0027] また、得られた長大 E S S O 試験の評価方法、試験装置を用いて、化学組成および圧延条件を変化させた多くの鋼板について製造条件と長大脆性き裂の脆性き裂伝播停止性能（アレスト性能(arrestability)という場合がある）の関係を調査し、知見を得た。

[0028] 本発明は上記知見を基に更に検討を加えてなされたもので、すなわち本発明は、以下の通りである。

（１） 1． 5 m 以上の幅を有する大型試験片の幅直角方向に引張試験機で引張荷重を負荷して、前記大型試験片におけるき裂長 1 m 以上の長大脆性き裂に対する伝播停止性能を求める厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法であって、前記大型試験片に引張試験機からの引張荷重を伝達する伝達部が、前記大型試験片の厚さの 2． 5 倍以上となる増厚部を、前記大型試験片の幅の 2． 8 倍以上となる間隔で、前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んで有し、前記引張試験機からの引張荷重が、前記増厚部で前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んだ位置に負荷されることを特徴とする厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法。

（２） 前記増厚部を前記大型試験片の幅の 4． 1 倍以上となる間隔で有することを特徴とする（１）記載の厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法。

（３） 1． 5 m 以上の幅を有する大型試験片の幅直角方向に引張荷重を負荷して、前記大型試験片におけるき裂長 1 m 以上の長大脆性き裂に対する伝播停止性能を求める厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する装置であって、前記大型試験片に引張荷重を伝達する伝達部が、前記大型試験片の厚さの 2． 5 倍以上となる増厚部を、前記大型試験片の幅の 2． 8 倍以上となる間隔で、前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んで有し、前記引張荷重を

、前記増厚部で前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んだ位置に負荷し、荷重容量(load capacity)が50MN(mega newton)以上であることを特徴とする厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する装置。

(4) 前記増厚部を前記大型試験片の幅の4.1倍以上となる間隔で有することを特徴とする(3)記載の厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する装置。

(5) (3)または(4)に記載の装置において、前記荷重容量が80MN以上あることを特徴とする厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する装置。

(6) (3)～(5)の何れか一つに記載の装置を用いて、厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する工程を含むことを特徴とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

(7) (6)に記載の厚鋼板の製造方法において、鋼組成が、質量%で、C:0.15%以下、Si:0.6%以下、Mn:0.8～2.4%、S:0.001～0.05%を含み、Ti:0.005～0.05%またはNb:0.001～0.1%の内から選んだ少なくとも1種を含み、更に、Cu:2%以下、V:0.2%以下、Ni:2%以下、Cr:0.6%以下、Mo:0.6%以下、W:0.5%以下、B:0.005%以下、Zr:0.5%以下の内から選んだ少なくとも1種を含有し、残部Feおよび不可避免的不純物からなる鋼素材を、900～1350℃の温度に加熱し、次いで鋼板表面温度1000～850℃の温度域において累積圧下率(cumulative rolling reduction)10%以上圧延した後、鋼板表面温度900～600℃の温度域において累積圧下率50%以上で、圧延終了時の鋼板表面温度800～550℃で熱間圧延して製造することを特長とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

(8) 更に、熱間圧延を終了した後、5℃/s以上の冷却速度(cooling rate)で400℃まで冷却する(7)記載の長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

(9) (6) ~ (8) の何れか一つに記載の製造方法により製造されることを特徴とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、これまで正確な評価が困難であった長大脆性き裂停止性能の評価が、応力反射 (reflection of stress wave) の無い実船相当条件下において実施可能となる。また、これまで困難であった、主に板厚 (t) が 50 mm 以上の厚鋼板において優れた脆性き裂伝播停止性能を付与することが可能で、長大脆性き裂を応力反射の無い実船相当条件下において停止させることができ、産業上極めて有用である。

図面の簡単な説明

[0030] [図1] 図1は試験片幅 2400 mm の長大 E S S O 試験片の寸法形状を示す図。

[図2] 図2は試験片幅 1500 mm の長大 E S S O 試験片の寸法形状を示す図。

[図3] 図3は長大脆性き裂伝播停止性能の評価に及ぼす応力反射の影響を調査するための動的 F E M 解析モデル (モデル1) を示す図。

[図4] 図4は長大脆性き裂伝播停止性能の評価に及ぼす応力反射の影響を調査するための動的 F E M 解析モデル (モデル2) を示す図。

[図5] 図5は長大脆性き裂伝播停止性能の評価に及ぼす応力反射の影響を調査するための動的 F E M 解析モデル (モデル3) を示す図。

[図6] 図6は図3~5の動的解析モデルによる解析結果として、長大脆性き裂の試験板突入時の (図3~5の P o i n t C の) 動的応力拡大係数に及ぼす試験条件 (増厚部の厚さとその間隔) の影響を示す図。ここで、 K_d は長大脆性き裂が試験板に突入するときの動的応力拡大係数 (dynamic stress intensity factor) (図3~5の P o i n t C における動的応力拡大係数)

、 $K_{d_{A_{eff}/W=8.3}}$ は $A_{eff}/W=8.3$ の条件 (A_{eff} が試験片幅 W の 8.3 倍の場合) において、長大脆性き裂が試験板に突入するときの動的応力拡大係数である。 $A_{eff}/W=8.3$ の条件は、長大脆性き裂が試験板に突入

するまで荷重の低下（ピン(pin)の反力(reaction force)の低下）が生じない条件（すなわち、長大脆性き裂が試験板に突入するまで、き裂発生（crack initiation）および開口(crack opening)による除荷応力弾性波(unloading stress elastic wave)がピン穴位置に到達しない条件）である。

[図7]図7は長大E S S O試験の実施に適用した試験片、試験機のタブ板、試験機のピンチャックの形状を示す図。

発明を実施するための形態

[0031] 本発明は、応力反射の無い実船相当条件下にて、長大脆性き裂伝播停止性能を評価するためのものである。本発明は、長大E S S O試験片（大型試験片ともいう）に引張試験機からの引張荷重を伝達する伝達部に、大型試験片の板厚 t の2.5倍以上となる増厚部を大型試験片の幅 W の2.8倍以上となる間隔で、大型試験片の幅中心を挟んで、設けることを特長とする。なお、大型試験片とは、日本海事協会「脆性亀裂アレスト設計指針」附属書B（2009）に記載の大型試験片を指す。

[0032] 以下、本発明を図1～7を用いて説明する。図6を除くこれらの図は大型引張試験ジグ(jig)を示す。図6を除くこれらの図において、1は長大E S S O試験片、11は長大E S S O試験片1の試験板、12は長大E S S O試験片1の助走板(crack-running plate)、13は機械加工ノッチ(machined notch)、14はエレクトロガスアーク溶接部(welded part of electrogas arc welding)、15はCO₂アーク溶接部(welded part of CO₂ arc welding)、2は試験機のタブ板、3は試験機のピンチャック、31は試験機のピン孔、32はナット形状部（ピン孔周囲を補強する増厚部）、 W は長大E S S O試験片の幅を指す。本発明は1.5m以上の幅 W を有する大型試験片を対象とする。また、通常、大型試験片の幅 W は3m以下である。

[0033] まず、動的F E M解析により応力反射の影響を評価し、応力反射の影響が無視できる試験条件を求めた。

[0034] 図1、2に解析に用いた長大E S S O試験片1の形状と各部の寸法を示す。図1に示した長大E S S O試験片1は、試験板11と助走板12が、試験

板 1 1 の圧延方向 (rolling direction) (R. D.) に沿って CO_2 アーク溶接された溶接部 1 5 (以下、 CO_2 アーク溶接部 1 5 という) で接合されている。

[0035] 脆性き裂を発生させるため、助走板 1 2 のエレクトロガスアーク溶接部 1 4 の溶接部途中のボンド部(bond)に沿って機械加工ノッチ 1 3 が加工されている。図 2 に示す長大 E S S O 試験片 1 では助走板 1 2 のエレクトロガスアーク溶接部 1 4 の端部のボンド部に機械加工ノッチ 1 3 が加工されているが、他は図 1 と同様に構成されている。

[0036] 図 3 ～ 5 に動的 F E M 解析モデルを示す。図 3、5 は図 1 の長大 E S S O 試験片を用いた解析モデル(analysis model)、図 4 は図 2 の長大 E S S O 試験片を用いた解析モデルとした。図示した動的 F E M 解析モデルは、応力反射の無い条件を見極めるためのパラメトリックモデル(parametrical model)で、伝達部の形状と寸法の影響を解析するためのモデルである。

[0037] 伝達部は、引張試験機からの引張荷重を大型試験片 1 に伝達する部分である。具体的には、伝達部とは、大型試験片 1 で引張荷重が負荷される端部に、大型試験片 1 の幅直角方向の中心 (機械加工ノッチ 1 3 のノッチ先端部の位置) に対して左右対称に、試験機のタブ板 2 と試験機のピンチャック 3 で構成された部分を指す。伝達部において試験片板厚 t 方向の厚みが試験片厚さ t (板厚) の 2. 5 倍以上となっている部分を増厚部とする。なお、幅方向とは、試験板を板厚方向から見たときに、圧延方向 (R. D.) に対して垂直な方向であり、幅直角方向とは、圧延方向 (R. D.) である。

[0038] 伝達部の増厚部は、図 3 の解析モデルの場合、試験片厚さ t (板厚) の 3 倍となる試験機のピンチャック 3 で、図 4 の解析モデルの場合、試験片厚さ t (板厚) の 2. 5 倍以上となる試験機のタブ板 2 と試験機のピンチャック 3 で、図 5 の解析モデルの場合、試験機のピンチャック 3 のナット形状部 (ピン孔周囲を補強する増厚部) 3 2 である。また、増厚部の厚みの上限は特に限定されないが、通常、増厚部の厚みは、試験片厚さ t (板厚) の 2 0 倍以下である。

- [0039] 引張試験機（図示しない）からの引張荷重は、増厚部のピン孔 31 に装入される引張試験機のピン（図示しない）により、大型試験片 1 の幅直角方向に左右対称に負荷される。
- [0040] 本発明で増厚部の間隔（ A_{eff} という場合がある）は、増厚部の間隔のうち、最短となる間隔である。増厚部の間隔は、図 3 の解析モデルの場合、左右の試験片厚さ t （板厚）の 3 倍となる試験機のピンチャック 3 間の間隔（図中 A_{eff} ）であり、図 4 の解析モデルの場合、左右の、試験片厚さ t （板厚）の 2.5 倍となる試験機のタブ板 2 間の間隔（図中 A_{eff} ）であり、図 5 の解析モデルの場合、左右の試験機のピンチャック 3 のナット形状部 32 で対向する面の間隔（図中 A_{eff} ）である。
- [0041] 図 6 に、解析結果として、長大き裂の試験板 11 に突入時（図 3～5 の Point C）の動的応力拡大係数に及ぼす試験条件（増厚部の厚さとその間隔（ A_{eff} ））の影響を示す。
- [0042] 図 6 に示すように、 A_{eff} が短くなると、動的応力拡大係数は試験機のピン穴 31 周囲の増厚部の形状（試験機のタブ板 2、試験機のピンチャック 3、またはナット形状部 32 の形状）によらずに低下する。そして、 A_{eff} が試験片幅 W の 2.8 倍より短くなると（ A_{eff}/W が 2.8 未満となると）低下がより一層顕著になる。
- [0043] 図 6 に示すように、き裂伝播速度（crack propagation speed）が 500～800 m/s の範囲（溶接部を直進伝播する一般的なき裂速度）では、 A_{eff} が試験片幅 W の 2.8 倍以上あれば、荷重低下が発生しない $A_{eff}/W = 8.3$ の試験条件とほぼ同等の（荷重低下が発生しない試験条件の 95% 以上の）動的応力拡大係数が得られている。すなわち、長大 E S S O 試験において、伝達部における増厚部の間隔 A_{eff} を、試験片幅 W の 2.8 以上にすれば、除荷応力波（wave of unloading characteristics）の反射の影響が小さい実船相当の試験条件が実現可能である。
- [0044] さらに、 A_{eff}/W を 4.1 倍以上とすれば荷重低下が発生しない試験条件の 97% 以上となり、より理想的な試験（more perfect test）が可能となる。

A_{eff}/W を6倍以上とすれば荷重低下が発生しない試験条件と完全に同条件となり、より理想的な試験が可能となる。

[0045] 以上より、 A_{eff} を試験片幅 W の2.8倍以上にすれば、実船相当条件の評価が可能である。例えば図7に示す、増厚部であるナット形状部(screw nut like part)32 (大型試験片1の板厚60～100mmに対し、厚みが400mm)間の間隔(A_{eff})が8800mmである伝達部を用いて、長大脆性き裂伝播停止性能を評価した場合、十分に実船相当条件の評価が可能となる。

[0046] 以上のFEM解析により、荷重を負荷／伝達する増厚部(試験機のタブ板もしくは試験機のピンチャック等)の間隔 A_{eff} を試験片幅の2.8倍以上、より好ましくは、4.1倍以上とした。さらにより理想的には6倍以上とするのが良い。

[0047] 上記条件で試験片幅1.5m以上の試験片を用いて、船舶の最大許容応力(maximum allowable stress)のレベル(242～300N/mm²程度)にて、試験片破断時に試験機に過度な付加を与えることなく、長大脆性き裂伝播停止性能を評価するには、試験機の荷重容量を50MN以上にする必要がある。

[0048] よって、応力反射の無い、実船相当条件下の長大脆性き裂伝播停止性能を評価しうる試験装置は、荷重を負荷／伝達する増厚部(試験機のタブ板もしくは試験機のピンチャック等)の厚さが試験片厚さに対して2.5倍以上、且つ試験片両端に位置する当該増厚部の間隔(最短距離(shortest distance))が試験片幅の2.8倍以上であり、荷重容量が50MN以上の装置である。

[0049] 日本海事協会の脆性き裂アレストの設計指針(Guidelines on Brittle Crack Arrest Design)等に記載の試験片幅2m以上での評価を行う場合、試験機の荷重容量を80MN以上にする必要がある。このため、より好ましくは荷重容量が80MN以上の試験装置である。荷重容量の上限値は特に限定されないが、通常、試験装置の荷重容量は100MN以下である。

[0050] 上述した実船相当条件の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法によって、

鋼板およびその溶接部において脆性破壊が発生した場合でも、大規模破壊(havoc)に至る前に長大化した脆性き裂を停止させることが可能な、主に50mm以上の板厚の厚鋼板を選び出すことができる。この厚鋼板の好ましい成分組成、好ましい製造条件は以下の通りである。なお、説明において%は質量%とする。ちなみに、厚さ50mm未満の厚鋼板は、現行鋼板（例えば造船用E級鋼(E class shipbuilding steel)など）で長大脆性き裂を停止させることができる。

[0051] [成分組成]

C : 0.15%以下

Cは強度を確保するために必要である。強度確保の観点からC量の下限を0.02%とするのが好ましい。しかし、C量が、0.15%を超えると溶接熱影響部(welded heat-affected zone) (HAZ) 靱性が低下するので、C量の上限を0.15%以下に限定した。なお、(211)面および(100)面の集合組織をより一層発達させるために、C量は0.03%以下とすることが好ましい。

[0052] Si : 0.6%以下

Siは強度上昇に有効な元素である。その効果を得るには、Siの含有量を0.01%以上とするのが好ましい。Si量が、0.6%を超えると溶接熱影響部(HAZ) 靱性を著しく劣化させる。このため、Si量は0.6%以下に限定した。

[0053] Mn : 0.8~2.4%

Mnは高強度化に有効な元素である。強度確保の観点からMn量は0.8%以上とした。しかし、Mn量が2.4%を超えると、母材靱性(toughness of base material)の劣化が懸念される。したがって、Mn量は0.8~2.4%の範囲とした。なお、Mn量の好ましい範囲は1.0~1.7%である。

[0054] S : 0.001~0.05%以下

脆性き裂前縁にクラック（鋼板表面に平行な割れ）を発生させる必要があ

るため、S量は0.001%以上とする。しかし、Sは非金属介在物(non-metal inclusion)を形成し延性(ductility)および靱性を劣化させる。このためS量は0.05%以下とした。

[0055] Ti : 0.005~0.050%、Nb : 0.001~0.1%の1種または2種

Tiは、炭化物(carbide)や窒化物(nitride)の析出物(precipitate)を形成することにより、鋼板製造時の加熱段階でのオーステナイト粒(austenite grain)の成長を抑制して細粒化に寄与するとともに、溶接熱影響部(HAZ)の結晶粒粗大化も抑制しHAZ靱性を向上する効果がある。これらの効果を得るには、Ti量は0.005%以上とする。一方、Ti量が多すぎると、靱性が劣化する。このため、Ti量は0.050%以下とする。

[0056] Nbは析出強化(precipitation strengthening)および靱性の向上にも有効である。また、Nbはオーステナイトの再結晶(recrystallization)を抑制し、後述する圧延条件による効果を促進する。これらの効果を得るためには、Nb量は0.001%以上とする。Nb量が0.1%を超えると、焼き入れ組織(hardened microstructure)が針状化(needle-like)して靱性が劣化する傾向にある。このため、Nb量は0.1%以下とする。

[0057] Cu : 2.0%以下、V : 0.2%以下、Ni : 2.0%以下、Cr : 0.6%以下、Mo : 0.6%以下、W : 0.5%以下、B : 0.0050%以下、Zr : 0.5%以下の内から選んだ少なくとも1種

Cu : 2.0%以下

Cuは、主として析出強化のために用いることができる。その効果を得るには、Cu量は0.05%以上とするのが好ましい。Cu量が2.0%を超えると、析出強化が過多となり靱性が劣化する。このため、Cu量は2.0%とすることが好ましい。

[0058] V : 0.2%以下

Vは固溶強化(solute strengthening)と析出強化が利用できる成分である。その効果を得るには、V量は0.001%以上とするのが好ましい。V量

が0.2%を超えると、母材の靱性および溶接性(weldability)を大きく損なう。このため、V量は0.2%以下とすることが好ましい。

[0059] Ni : 2.0%以下

Niは、強度および靱性を向上させる。また、Niは、Cuを添加した場合において、圧延時のCu割れを防止するのに有効である。その効果を得るには、Ni量は0.05%以上とするのが好ましい。しかし、Niは高価である上、Niを過剰に添加してもその効果が飽和する。このため、Ni量は2.0%以下とすることが好ましい。

[0060] Cr : 0.6%以下

Crは、強度を上昇させる効果を有する。その効果を得るには、Cr量は0.01%以上とするのが好ましい。しかし、Cr量が0.6%を超えると、溶接部の靱性が劣化する。このため、Cr量は0.6%以下とすることが好ましい。

[0061] Mo : 0.6%以下

Moは、常温および高温での強度を上昇させる効果を有する。その効果を得るには、Mo量は0.01%以上とするのが好ましい。しかし、Mo量が0.6%を超えると、溶接性が劣化するため、Mo量は0.6%以下とするのが好ましい。

[0062] W : 0.5%以下

Wは、高温強度を上昇させる効果を有している。その効果を得るには、W量は0.05%以上とするのが好ましい。しかし、W量が0.5%を超えると、靱性を劣化させるだけでなく、高価である。このため、W量は0.5%以下とするのが好ましい。

[0063] B : 0.005%以下

Bは圧延中にBNとして析出し、圧延後のフェライト粒(ferrite grain)を細かくする。その効果を得るには、B量は0.001%以上とするのが好ましい。しかし、B量が0.005%を超えると靱性が劣化する。このため、B量は0.005%以下に限定した。

[0064] Zr : 0.5%以下

Zrは、強度を上昇させるほか、亜鉛めっき材(galvanized material)の耐めっき割れ性(plating cracking resistance)を向上させる元素である。その効果を得るに、Zr量は0.03%以上とするのが好ましい。しかし、Zr量が0.5%を超えると、溶接部の靱性が劣化する。このため、Zr量は0.5%以下とするのが好ましい。

[0065] 本発明に係る鋼は上記成分組成の他は残部Feおよび不可避免の不純物である。なお、不可避免の不純物としては、P : 0.035%以下、Al : 0.08%以下、N : 0.012%以下、O : 0.05%以下、Mg : 0.01%以下、などが容認できる。

[0066] 製造条件では、加熱温度(heating temperature)、熱間圧延条件(hot rolling condition)、冷却条件(cooling condition)を規定することが好ましい。説明において規定がない場合、温度、冷却速度は板厚方向(thickness direction)の平均値とする。

[0067] [加熱温度]

鋼素材は、900～1350℃の温度に加熱する。加熱温度を900℃以上とするのは、材質の均質化と後述する制御圧延(controlled rolling)を行うために必要である。また、加熱温度を1350℃以下とするのは、過度に高温になると表面酸化(surface oxidization)が顕著になるとともに、結晶粒(crystal grain)の粗大化(coarsening)が避けられなくなるからである。なお、靱性の向上のためには、加熱温度の上限を1150℃とすることが好ましい。

[0068] [熱間圧延条件]

鋼板表面温度が1000～850℃の温度域において、累積圧下率が10%以上の条件で圧延する。この圧延によって、オーステナイト粒が部分的に再結晶するため、組織が微細かつ均一になる。

[0069] なお、1000℃を超える温度での圧延は、オーステナイト粒の成長を助長するので、細粒化のためには好ましくない。一方、850℃未満の温度で

の圧延は、850℃未満で完全にオーステナイト未再結晶域(no-recrystallization temperature range in austenite)に入るので、結晶粒の均一化のためには好ましくない。また、累積圧下率が10%未満になるとオーステナイト粒が十分に微細にならないという理由で好ましくない。

[0070] 鋼板表面温度が900～600℃の温度域において、累積圧下率が50%以上、圧延終了時の鋼板表面温度が800～550℃の条件にて熱間圧延する。この工程により、変態後の結晶粒を微細化するための歪を導入する。

[0071] 900～600℃の温度域で圧延することで結晶粒を微細化し且つアレスト性に有利な集合組織が発達するという効果がある。

[0072] また、累積圧下率を50%以上にすることで結晶粒微細化と集合組織の発達をさらに促進させるという効果がある。

[0073] その後、鋼板表面温度が850～550℃の温度域で圧延することにより、結晶粒が微細化され、良好なアレスト性能（長大脆性き裂伝播停止性能）が得られる。

[0074] [冷却条件]

熱間圧延を終了した後、5℃/s以上の冷却速度で400℃まで冷却することが好ましい。400℃までの温度域を5℃/s以上の冷却速度で冷却すると、ベイナイトラス(bainite luth)が発達して、き裂の伝播抵抗(crack propagation resistance)となり、良好なアレスト性能（長大脆性き裂伝播停止性能）が得られる。

実施例

[0075] 表1に示す種々の化学組成に調整した鋼スラブ(steel slab)を用いて、表2に示す条件にしたがって厚鋼板を製造した。かくして得られた各厚鋼板について、図1に示す寸法形状の長大ESSO試験片を作製し、上述の本発明法を用いて試験に供した。試験は、応力257N/mm²、試験温度-10℃の条件にて実施した。ここで、応力257N/mm²は、船体に多用されている降伏強度(yield strength)40kgf/mm²級鋼板の最大許容応力であり、温度-10℃は船舶の設計温度である。長大ESSO試験は図7に示す大

型引張試験ジグにて行った。

[0076] 長大E S S O試験を実施した結果を、表2に示す。No 2、3、5、6、8、9、12、14は、本発明の製造方法の発明例であり、脆性き裂が試験板で停止している。このため、これらは、本発明の評価方法によって、「良好」と評価できる。No. 1、4、7、10、11、13、15、16は、本発明の製造方法の比較例であり、脆性き裂が停止しなかった。このため、これらは、本発明の評価方法によって、「不良」と評価できる。

[0077]

[表1]

表1

No.	C	Si	Mn	Ti	Nb	S	Cu	V	Ni	Cr	Mo	W	B	Zr
1	0.02	0.27	1.54	0.014	0.043	0.002	0.44	-	0.30	0.55	-	-	0.0021	-
2	0.09	0.29	1.45	-	0.010	0.003	0.08	0.001	0.05	0.01	-	-	-	-
3	0.07	0.20	1.56	0.012	0.008	0.002	-	0.006	0.20	0.04	-	-	0.0013	-
4	0.05	0.30	1.50	0.011	-	0.003	0.27	-	0.22	-	-	-	-	-
5	0.09	0.30	1.45	0.011	0.011	0.001	0.07	0.001	-	0.01	0.01	0.2	-	-
6	0.07	0.30	1.55	0.010	0.005	0.003	-	0.005	0.19	0.05	-	-	0.0014	0.03
7	0.11	0.50	1.75	0.040	0.090	0.004	0.50	0.150	0.10	0.65	-	-	0.0065	-

(質量%)

注: 下線は好ましい範囲の範囲外であることを示す

[0078] [表2]

表2

No.	鋼No.	板厚 (mm)	加熱温 度 (°C)	1000~ 850°Cの累 積圧下率 (%)	900~ 600°Cの累 積圧下率 (%)	圧延終 了温度 (°C)	圧延終 了後の 冷却速 度(°C /s)	冷却終 了温度 (°C)	長大 ESSO 試験結 果	備考
1	1	50	1360	15	65	700	0.8	-	貫通	比較例
2	1	50	1150	15	65	700	0.8	-	停止	本発明例
3	1	50	1150	15	65	700	7.0	355	停止	本発明例
4	2	60	1120	50	30	660	0.7	-	貫通	比較例
5	2	60	1070	20	60	660	0.7	-	停止	本発明例
6	2	60	1070	20	60	660	6.0	382	停止	本発明例
7	3	65	1100	10	50	500	0.7	-	貫通	比較例
8	3	65	1100	10	50	650	5.0	357	停止	本発明例
9	4	80	1150	15	60	700	5.0	278	停止	本発明例
10	4	80	1150	15	60	820	5.0	300	貫通	比較例
11	5	55	1200	20	60	850	0.8	-	貫通	比較例
12	5	55	1200	20	60	650	7.0	362	停止	本発明例
13	6	50	1150	5	75	750	0.8	-	貫通	比較例
14	6	50	1150	15	65	750	7.0	388	停止	本発明例
15	7	70	1100	15	60	700	0.6	-	貫通	比較例
16	7	70	1100	15	60	700	6.0	550	貫通	比較例

注1：下線は好ましい範囲の範囲外であることを示す。

注2：備考には、製造方法の発明の発明例、比較例の区別を示す。

符号の説明

[0079] 1 長大ESSO試験片

- 1 1 試験板
- 1 2 助走板
- 1 3 機械加工ノッチ
- 1 4 エレクトロガスアーク溶接部
- 1 5 CO_2 アーク溶接部
- 2 試験機のタブ板
- 3 試験機のピンチャック
 - 3 1 試験機のピン孔
 - 3 2 ナット形状部

請求の範囲

- [請求項1] 1. 5 m以上の幅を有する大型試験片の幅直角方向に引張荷重を負荷して、前記大型試験片におけるき裂長1 m以上の長大脆性き裂に対する伝播停止性能を評価する厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法であって、前記大型試験片に引張試験機からの引張荷重を伝達する伝達部が、前記大型試験片の厚さの2.5倍以上となる増厚部を、前記大型試験片の幅の2.8倍以上となる間隔で、前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んで有し、前記引張試験機からの引張荷重が、前記増厚部で前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んだ位置に負荷されることを特徴とする厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法。
- [請求項2] 前記増厚部を前記大型試験片の幅の4.1倍以上となる間隔で有することを特徴とする請求項1記載の厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能の評価方法。
- [請求項3] 1. 5 m以上の幅を有する大型試験片の幅直角方向に引張荷重を負荷して、前記大型試験片におけるき裂長1 m以上の長大脆性き裂に対する伝播停止性能を評価する厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する試験装置であって、前記大型試験片に引張荷重を伝達する伝達部が、前記大型試験片の厚さの2.5倍以上となる増厚部を、前記大型試験片の幅の2.8倍以上となる間隔で、前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んで有し、前記引張荷重を、前記増厚部で前記大型試験片の幅直角方向の中心を挟んだ位置に負荷し、荷重容量が50 MN以上であることを特徴とする厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する試験装置。
- [請求項4] 前記増厚部を前記大型試験片の幅の4.1倍以上となる間隔で有することを特徴とする請求項3記載の厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する試験装置。
- [請求項5] 前記荷重容量が80 MN以上あることを特徴とする請求項3または

4 に記載の厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する試験装置。

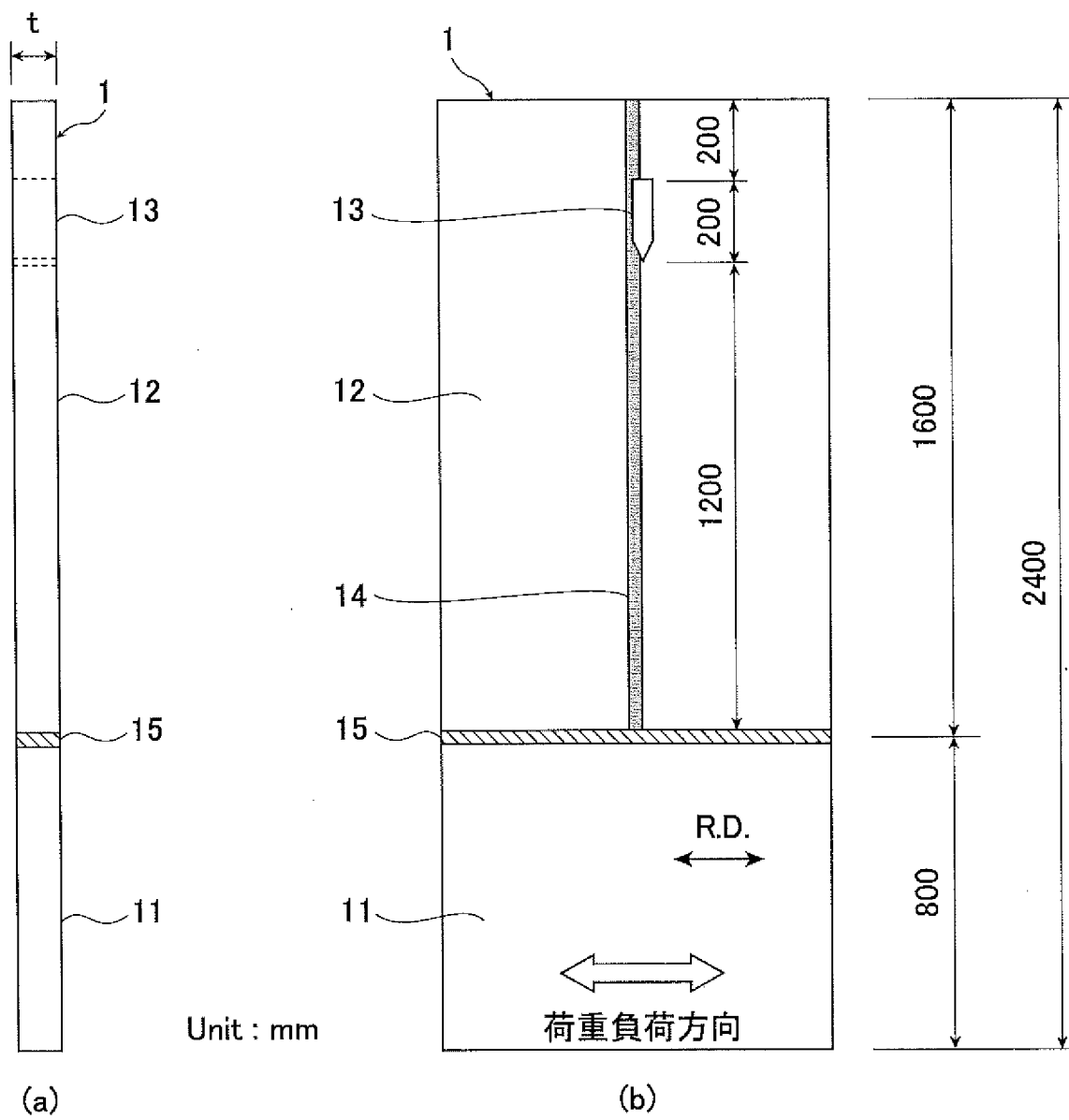
[請求項6] 請求項3～5の何れか一つに記載の装置を用いて、厚鋼板の長大脆性き裂伝播停止性能を評価する工程を含むことを特徴とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

[請求項7] 請求項6の厚鋼板の製造方法において、鋼組成が、質量%で、C : 0.15%以下、Si : 0.6%以下、Mn : 0.8～2.4%、S : 0.001～0.05%を含み、Ti : 0.005～0.05%またはNb : 0.001～0.1%の内から選んだ少なくとも1種を含み、更に、Cu : 2%以下、V : 0.2%以下、Ni : 2%以下、Cr : 0.6%以下、Mo : 0.6%以下、W : 0.5%以下、B : 0.005%以下、Zr : 0.5%以下の内から選んだ少なくとも1種を含有し、残部Feおよび不可避免的不純物からなる鋼素材を、900～1350℃の温度に加熱し、次いで鋼板表面温度1000～850℃の温度域において累積圧下率10%以上圧延した後、鋼板表面温度900～600℃の温度域において累積圧下率50%以上で、圧延終了時の鋼板表面温度800～550℃で熱間圧延して製造することを特長とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

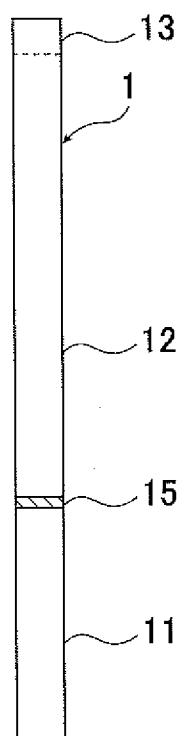
[請求項8] 更に、熱間圧延を終了した後、5℃/s以上の冷却速度で400℃まで冷却する請求項7記載の長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板の製造方法。

[請求項9] 請求項6～8の何れか一つに記載の製造方法により製造されることを特徴とする長大脆性き裂伝播停止性能に優れる厚鋼板。

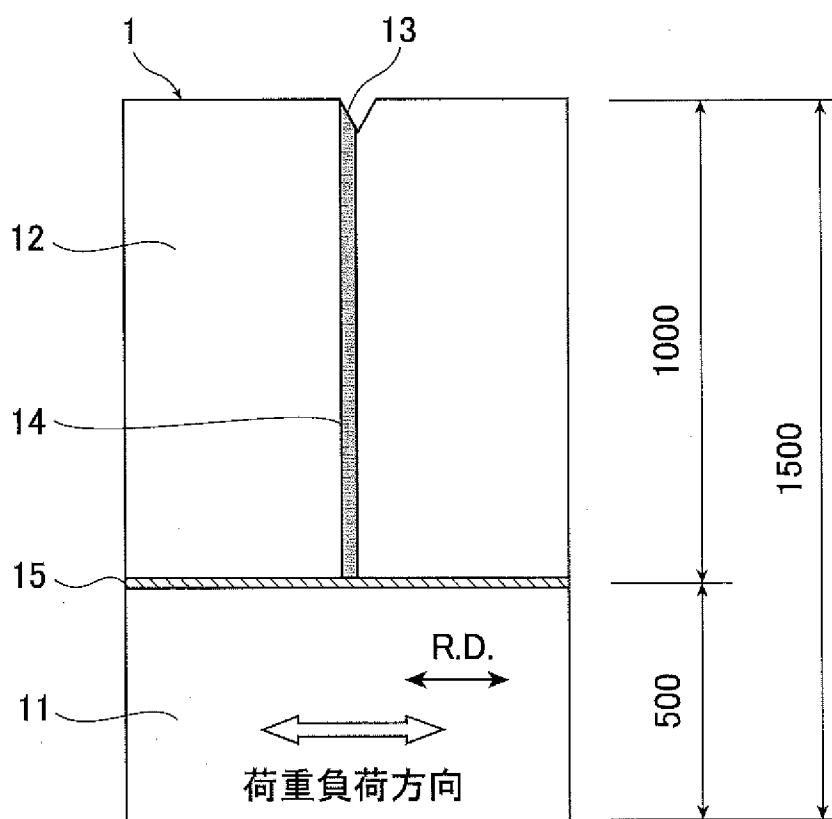
[図1]



A diagram showing two vertical lines representing the boundaries of a material. A horizontal double-headed arrow between the lines is labeled with the letter t , indicating the thickness of the material.



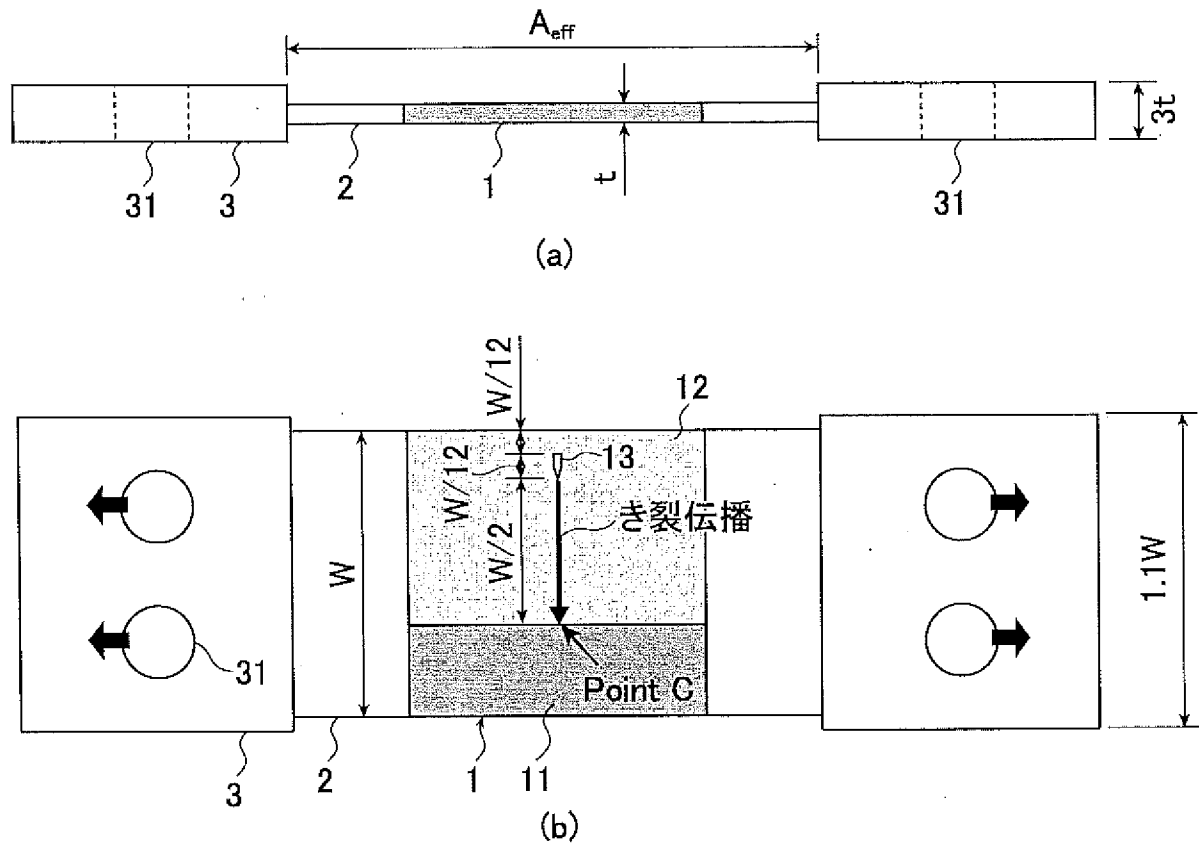
Unit : mm



(a)

(b)

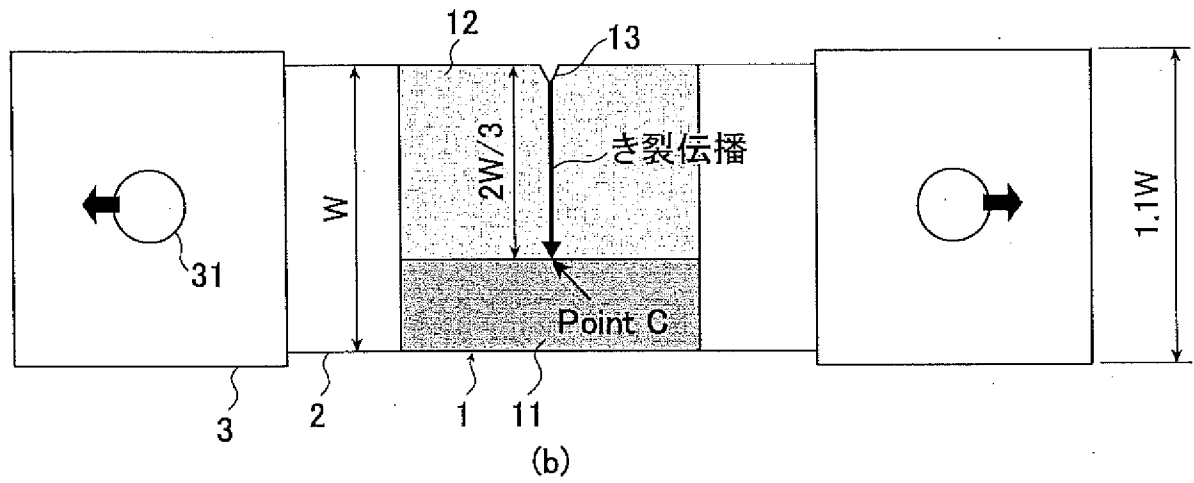
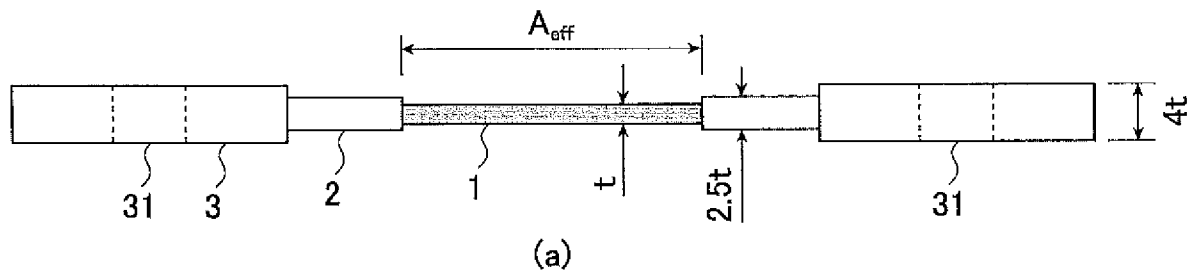
[図3]



Model 1

(t=60mm, W=2.4m, A_{eff} =1.8~20m)

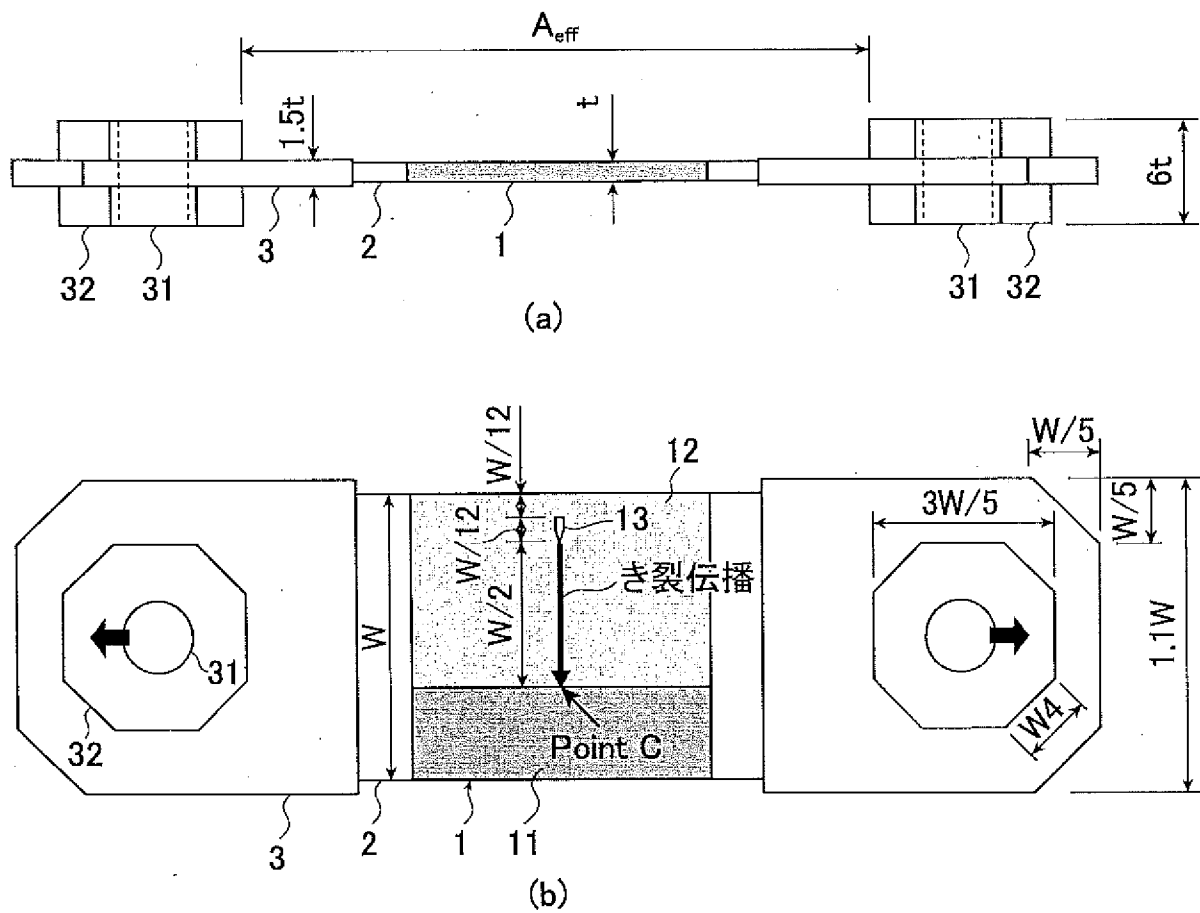
[図4]



Model 2

($t=80\text{mm}$, $W=1.5\text{m}$, $A_{\text{eff}}=3\sim11\text{m}$)

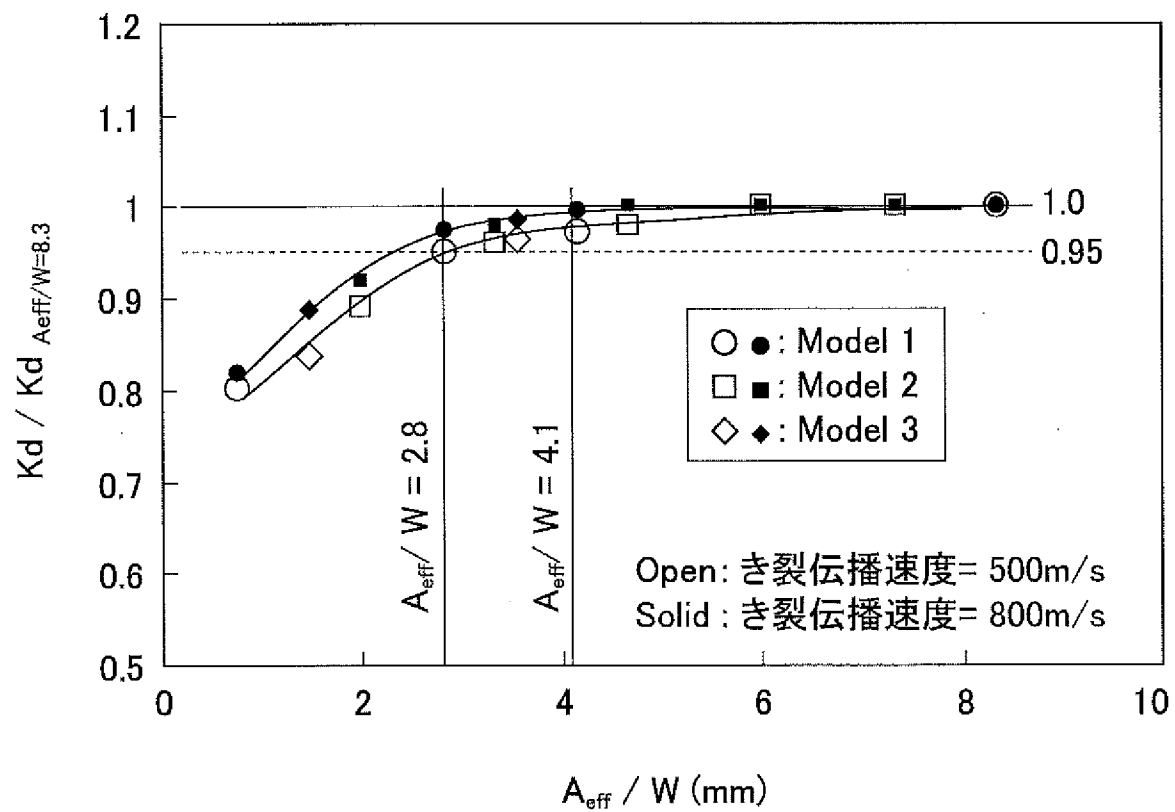
[図5]



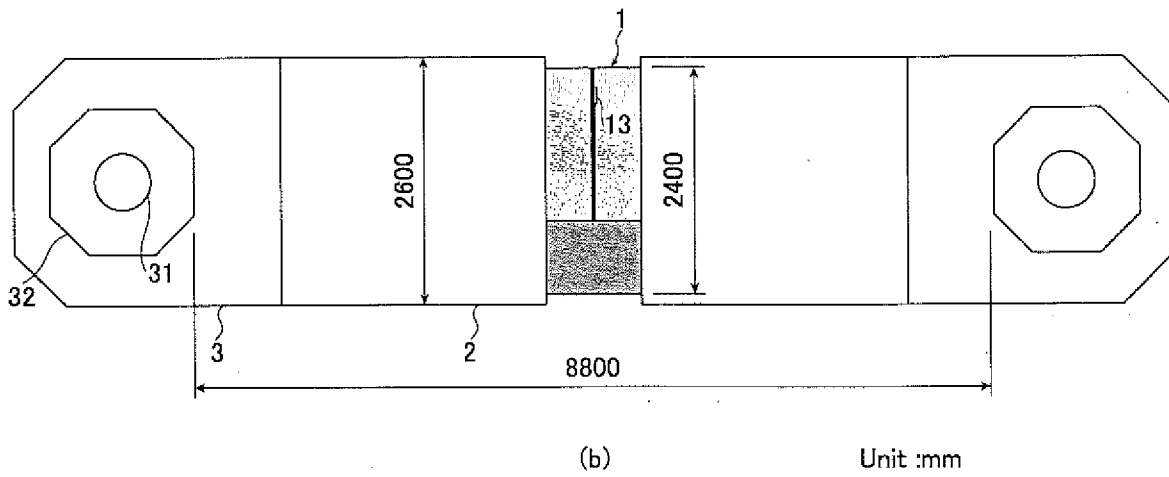
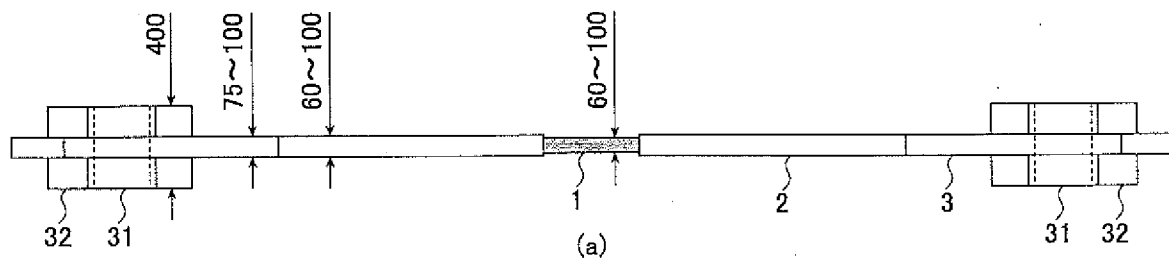
Model 3

($t=60\text{mm}$, $W=2.4\text{m}$, $A_{eff}=1.8\sim 8.5\text{m}$)

[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/004682

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N3/00(2006.01)i, C21D8/02(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, G01N3/08(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)

G01N3/00-3/62, C21D8/00-8/12, C22C38/00-38/60

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X/Y	Tsunehisa HANDA et al., "Effect of Distance of Loading Points on Long Brittle Crack Propagation/Arrest Behavior", Proceeding of the National Symposium on Welding Mechanics & Design, 2011.11, vol.2011, pages 169 to 176	1-6/7-9
Y	JP 2008-156750 A (JFE Steel Corp.), 10 July 2008 (10.07.2008), claims 4 to 6 (Family: none)	7-9
A	Toshiya AKIYAMA et al., "A Study for the Evaluation of Brittle Crack Arrestability by the Wide Plate Duplex Esso Test", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, 1983, (152), 412 to 418	1-9

☒ 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
23 August, 2013 (23.08.13)

Date of mailing of the international search report
03 September, 2013 (03.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/004682

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	WO 2012/108543 A1 (JFE Steel Corp.), 16 August 2012 (16.08.2012), entire text; all drawings & JP 2012-180590 A & TW 201250007 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N3/00(2006.01)i, C21D8/02(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i,
G01N3/08(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 (I P C))

Int.Cl. G01N3/00-3/62, C21D8/00-8/12, C22C38/00-38/60

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii

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
X/Y	半田恒久 他, 長大脆性き裂伝播停止挙動に及ぼす荷重負荷点間距離の影響, 溶接構造シンポジウム講演論文集, 2011.11, Vol.2011, Page.169-176	1-6/7-9
Y	JP 2008-156750 A (J F E スチール株式会社) 2008.07.10, 【請求項4】 - 【請求項6】 (ファミリーなし)	7-9
A	秋山俊弥 他, 広幅混成Esso試験によるぜい性き裂伝播停止性能の評価に関する一考察, 日本造船学会論文集, 1983, (152), 412-418	1-9

☒ 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

2 3 . 0 8 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

阿部 知

2 J

4 6 3 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

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
PA	WO 2012/108543 A1 (J F E スチール株式会社) 2012.08.16, 全文全 図 & JP 2012-180590 A & TW 201250007 A	1-9