

(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
2024年1月18日(18.01.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/014181 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 3/00 (2006.01) G01N 3/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/020864

(22) 国際出願日: 2023年6月5日(05.06.2023)

(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 2022-110976 2022年7月11日(11.07.2022) JP

(71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: ▲崎▼本 隆洋(SAKIMOTO Takahiro); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 半田 恒久(HANDA Tsunehisa); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).

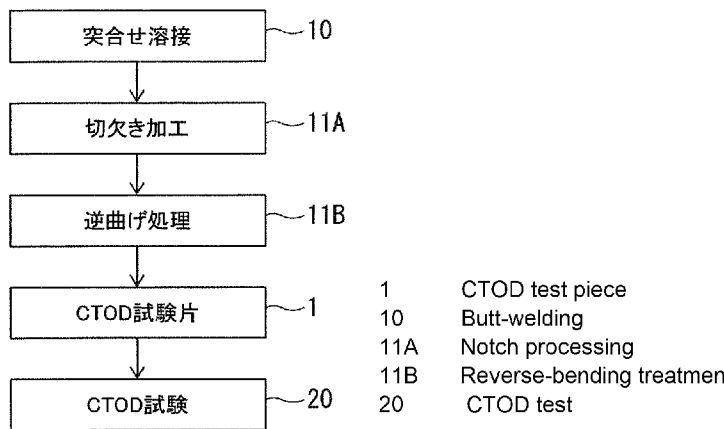
(74) 代理人: 田中 秀 ▲ て つ ▼, 外 (TANAKA Hidetetsu et al.); 〒1056032 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号 城山トラストタワー3 2階 弁理士法人日栄国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,

(54) Title: METHOD FOR PREPARING 3-POINT BENDING CTOD TEST PIECE

(54) 発明の名称: 3点曲げCTOD試験片の作製方法



(57) Abstract: To provide a test piece for a 3-point bending CTOD test with which it is possible to more reliably ensure the straightness of fatigue cracks. This method is for preparing a test piece (1) for a 3-point bending CTOD test (20) comprising a butt-welded joint obtained by butt-welding steel plates. The thickness of the test piece (1) is set to 125 mm or above, the test piece (1) is subject to notch processing (11A) and then a reverse-bending treatment (11B) in the direction in which a notch (2) formed by the notch processing (11A) closes, and a fatigue crack is introduced in the notch (2) to obtain the test piece (1), the reverse-bending treatment (11B) satisfying the following relationships (1) and (2). [Relationship 1] $0.9 \leq Lr (=Prb/PL) \leq 1.0$ [Relationship 2] $1.0 \leq k (=af/wrb) \leq 1.5$

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, ME, 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：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：より確実に疲労き裂の直線性を担保可能な、3点曲げCTOD試験用の試験片を提供する。銅板を突合わせ溶接した突合せ溶接継手からなる、3点曲げCTOD試験(20)の試験片(1)を作製する方法である。試験片(1)の板厚を125mm以上とし、試験片(1)に切欠き加工(11A)を行った後に、切欠き加工(11A)で形成した切欠き(2)が閉じる方向に逆曲げ処理(11B)を行って、切欠き(2)に疲労き裂を導入して試験片(1)とし、逆曲げ処理(11B)が下記(1)式及び(2)式を満足する。 $0.9 \leq L_r (=P_r b / P_L) \leq 1.0 \dots (1)$ $0 \leq k (=a_f / w_r b) \leq 1.5 \dots (2)$

明 細 書

発明の名称： ３点曲げＣＴＯＤ試験片の作製方法

技術分野

[0001] 本発明は、溶接鋼構造物の破壊靱性値を測定する３点曲げＣＴＯＤ試験の試験片の作製方法に関する。

[0002] 本発明は、突合せ溶接継手からなる試験片に対し、破壊靱性試験規格ＩＳＯ １５６５３（２０１８）に準拠した技術である。具体的には、本発明は、切欠き加工を行った後に逆曲げ処理（疲労き裂導入処理）を行うことで、ＣＴＯＤ試験用の溶接部を有する試験片を作製する技術に係る。本発明は、上記試験片が厚板からなる場合に有効な技術である。

背景技術

[0003] 一般に、板厚が２０ｍｍ～５０ｍｍ程度の厚鋼板を用いた溶接鋼構造物の継手靱性評価には、例えばＩＳＯ１５６５３（２０１８）等に準拠した３点曲げＣＴＯＤ試験が用いられる。このとき、溶接継手から採取された試験片については、３点曲げＣＴＯＤ試験を行う際に、破壊靱性評価のために重要な疲労き裂の直線性を担保する必要がある。このため、試験片に前処理を施すことが一般的である。その前処理は、切欠き加工で形成した切欠きの先端部に、疲労き裂を導入する処理である。

前処理としては、例えば、特許文献１や特許文献２に記載のような、切欠きに対して逆曲げ処理を施す逆曲げ法がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特許第６６４８８３６号公報

特許文献２：特開２０１１－１６９７４５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ＩＳＯ１５６５３（２０１８）には、３点曲げＣＴＯＤ試験の前処理の１

つとして逆曲げ法が開示されている。このISO 15653 (2018)には、逆曲げ法について、下記(3)式及び(4)式の条件で実施することが推奨されている。

$$0.6 \leq L_r (= P_{rb} / PL) \leq 1.0 \quad \dots (3)$$

$$1.0 \leq k (= a_f / w_{rb}) \leq 1.5 \quad \dots (4)$$

ここで、

P_{rb} : 逆曲げ処理での最大荷重

PL : 逆曲げ処理でのリミットロード

a_f : 逆曲げ処理で導入される疲労き裂の長さ

w_{rb} : 逆曲げ処理で生じる圧縮塑性域寸法

である。

[0006] しかし、発明者は、種々の検討により、次の知見を得た。すなわち、発明者は、ISO 15653 (2018)に準拠して、試験片に対し前処理として逆曲げ処理を施した。しかし、発明者は、このような前処理を施しても、試験片の板厚によっては、試験片への前処理が有効に働かない場合があるとの知見を得た。前処理が有効に働かない場合には、疲労き裂の直線性が担保できなくなる。この場合、3点曲げCTOD試験の試験結果が無効となる。

[0007] 本発明は、上記のような知見に基づきなされたものである。本発明は、より確実に疲労き裂の直線性を担保可能な、3点曲げCTOD試験用の試験片を提供できることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 特許文献1や2などの公知文献は、試験片の板厚が20mm～50mmの範囲での試験を想定している。すなわち、これらの文献では、板厚が100mmを超える場合について、検討がされていない。

そして、発明者らの検討によれば、板厚125mm以上の溶接継手から採取した試験片について次のことが判明した。すなわち、上述の(3)式及び(4)式の条件で逆曲げ処理を施した場合に、試験結果が無効となる場合がある、との知見を得た。具体的には、発明者は、推奨条件の一部の範囲(L

$r = 0.6$ 等)を採用した場合、前処理が有効に働かず疲労き裂の直線性が担保できなくなるとの知見を得た。そして、疲労き裂の直線性が担保出来ない場合、試験結果が無効となる。更に、発明者は、種々の検討を行うことで、板厚125mm以上の突合せ溶接継手を試験片とする場合における、適正な逆曲げ処理の条件を見いだして、本発明をなした。

[0009] すなわち、課題解決のために、本発明の一態様は、鋼板を突合わせ溶接した突合せ溶接継手からなる、3点曲げCTOD試験の試験片を作製する方法であって、上記試験片の板厚を125mm以上とし、上記試験片に切欠き加工を行った後に、上記切欠き加工で形成した切欠きが閉じる方向に逆曲げ処理を行って、上記切欠きに疲労き裂を導入して試験片とし、上記逆曲げ処理が下記(1)式及び(2)式を満足する、ことを要旨とする。

$$0.9 \leq L_r (=P_{rb}/PL) \leq 1.0 \quad \cdots (1)$$

$$1.0 \leq k (=a_f/w_{rb}) \leq 1.5 \quad \cdots (2)$$

ここで、

P_{rb} : 逆曲げ処理での最大荷重

PL : 逆曲げ処理でのリミットロード

a_f : 逆曲げ処理で導入される疲労き裂の長さ

w_{rb} : 逆曲げ処理で生じる圧縮塑性域寸法

である。

発明の効果

[0010] 本発明の態様によれば、板厚125mm以上の突合せ溶接継手からなる試験片であっても、適正な疲労き裂が導入された試験片を提供可能となる。この結果、本発明の態様によれば、より確実に疲労き裂の直線性を担保可能な3点曲げCTOD試験用の試験片を提供できる。そして、この場合には、3点曲げCTOD試験をより適正に実行可能となる。

例えば、本発明の態様によれば、板厚125mm以上の厚鋼板溶接継手における3点曲げCTOD試験の試験片作成のための逆曲げ条件について、適正な範囲が提供可能となる。その結果、本発明の態様によれば、CTOD試

験の試験結果が無効にならずに、構造物の安全性を適切に評価できるといった効果を奏する。すなわち、本発明の態様によれば、産業上格段に優れた効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明に基づく実施形態に係る処理の手順例を示す図である。

[図2]切欠き加工後の試験片を示す図である。(a)が側面図、(b)が(a)でのX-X断面図、(c)が切欠きの根元側の拡大図、(d)は切欠きの先端部の拡大図である。

[図3]切欠き位置の例を示す図である。

[図4]逆曲げ処理を説明する模式図である。

[図5]C T O D試験を説明する模式図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

(知見)

発明者は次の知見を得た。ISO 15653 (2018) 規格推奨範囲 (上述の (3) 式及び (4) 式の条件を参照) の逆曲げ条件でも、板厚 125 mm 以上の材料では前処理が有効に働かない場合があった。その場合には、導入される疲労き裂の直線性が担保できなくなり、試験結果が無効になった。発明者は、その原因を調査するため、有限要素解析による逆曲げ処理実施後の試験片に生じる逆曲げ塑性域 (圧縮塑性域) を求めた。そして、発明者は、有限要素解析で得られた逆曲げ塑性域と、ISO 15653 (2018) 規格で計算される理論逆曲げ塑性域との比較を行うことで、次の新たな知見を得た。

[0013] すなわち、 L_r が 0.6 ~ 0.9 の範囲では、試験片における板厚中心の逆曲げ塑性域は理論逆曲げ塑性域と良く一致している。しかし、 L_r が 0.6 ~ 0.9 の範囲では、試験片表面の逆曲げ塑性域は理論逆曲げ塑性域よりも小さい。つまり、試験片表面では残留応力が除去されている領域が理論式より小さく、残留応力が残る可能性が高いことが分かった。このような状況

で疲労き裂を導入すると、残留応力の不均一性のために疲労き裂の直進性が担保できない。担保できない場合、試験結果が無効となる。

一方、 L_r が0.9～1.0の範囲では、試験片における板厚中心及び試験片表面の逆曲げ塑性域は、ともに理論逆曲げ塑性域と良く一致している。つまり、試験片の内部、表面共に残留応力が均一に除去されている。この状況では、残留応力が均一に除去されているため、疲労き裂の直進性が担保できる。結果、試験結果が有効となる。この傾向は、板厚が大きくなるほど、より顕著に表れる。

[0014] 以上のことから、発明者は、板厚125mm以上の突合せ溶接継手からなる試験片に対する逆曲げ処理においては、次の新たな知見を得た。すなわち、 L_r の条件は、0.9以上1.0以下が好適である、という新たに知見した。

また、切欠き加工時の狙いについて、逆曲げ荷重に関するパラメータ L_r は、試験片加工時に精度よく指定できる。このため、上記範囲の上限である、0.99～1.0、さらには上限の $L_r=1.0$ とすることが好ましい。一方、疲労き裂長さに関するパラメータ k は、CTOD試験を行った後にしか精度良く分からない。しかし、発明者は、多少の尤度をもって最適条件の中央となる $k=1.2$ 近傍で、CTOD試験の試験結果の精度が良い、との新たな知見も得た。 $k=1.2$ 近傍とは、例えば、 k が1.1以上1.3以下の範囲である。

[0015] (構成)

本実施形態は、3点曲げCTOD試験の試験片を作製する方法である。

試験片の作製は、図1に示すように、突合せ溶接10、切欠き加工11A、逆曲げ処理11Bを、この順番に実行して作製される。

そして、作製された試験片1に対し、本試験である3点曲げCTOD試験20を施す。そして、試験後の試験片1の破面を測定し、継手部の靱性を評価する。

[0016] <突合せ溶接10>

C T O D 試験 2 0 の試験片 1 は、図 2 のように、板厚 1 2 5 m m 以上の鋼板 1 A、1 B 同士を突合せ溶接した鋼板である。符号 1 C は、溶接部である。突合せ溶接については、評価対象の溶接鋼構造物で採用する溶接条件を用いて実行すれば良い。なお、突合せ溶接継手の開先形状は、例えばレ形や K 形である。

試験片 1 の板厚は、1 2 5 m m 以上であれば特に限定はない。

本実施形態の試験片 1 は、正方形断面とする。正方形断面の場合、板幅 W = 板厚 B となる。すなわち、試験片 1 の幅 W も 1 2 5 m m 以上となっている。試験片 1 は、板厚 B 、板幅 W とともに 1 2 5 m m 以上であれば、板幅 W と板厚 B とが異なっても良い。図 2 中、符号 L は、試験片 1 の長さで、例えば 6 0 0 m m となっている。

試験片 1 の板厚の上限は、例えば 2 0 0 m m である。

また、試験片 1 の材料は、鋼材であれば特に限定はない。本実施形態では、試験片 1 の材料は、例えば、S M 4 9 0 B のような引張強度 4 9 0 M P a 以上の鋼種（鋼板）を対象とする。

[0017] <前処理>

本実施形態では、突合せ溶接継手からなる試験片 1 に対し、前処理として切欠き加工 1 1 A と逆曲げ処理 1 1 B とを施す。これによって、試験片 1 を、3 点曲げ C T O D 試験 2 0 の試験片とする。切欠き加工 1 1 A と逆曲げ処理 1 1 B は、I S O 1 5 6 5 3 (2 0 1 8) に準拠した条件にて実行する。

[0018] <切欠き加工 1 1 A>

切欠き加工 1 1 A では、試験片 1 の溶接部 1 C に対し、所定深さのスリット状の切欠き 2（機械切欠き）を形成する。切欠き 2 は、例えば、図 2 のように、試験片 1 の板表面（上面）から、板幅方向に向けて形成される。その切欠き 2 は、溶接融合線に沿って形成される。

図 2 に示す切欠き 2 は、例えば、深さ（切欠き長さ） a m を 4 8 ~ 6 0 m m の範囲とする。また、切欠き 2 の幅を 2 m m としている（図 2（c）参照）。また、切欠き 2 の先端部 2 a の形状は、角度 6 0 度、先端の曲率半径 0

、1 mmとした（図2（d）参照）。図2では、切欠き2の付け根部2bも形状を変える加工を施す場合が例示されている。しかし、切欠き2の形状は、ISO 15653（2018）に準拠して形成されていれば、図2の形状に限定されない。

切欠き2の形成位置Nは、図3のように、溶接部1Cに形成されていれば良い。溶接の開先形状が、レ形やk形の場合には、図3（a）のように切欠き2を形成すればよい。つまり、溶接部1Cの輪郭が板厚方向に延びる位置に、切欠き2を形成すればよい。

[0019] <逆曲げ処理11B>

逆曲げ処理11Bは、例えば、3点曲げCTOD試験20と同じ試験機を使用する。例えば、逆曲げ処理11Bでは、ISO 15653（2018）に準拠して4点曲げを施す。具体的には、図4のような試験機30を用いて、切欠き2が閉じる方向に4点曲げを施す。これにより、前処理として、切欠き2の先端部に疲労き裂3を導入する（図5参照）。

ここで、切欠き2の先端部は、図2（b）のように、試験片1の板厚方向全域に延在している。

[0020] このとき、本実施形態では、逆曲げ処理11Bの逆曲げ条件として、（1）式及び（2）式を満足する条件とする。他の条件は、ISO 15653（2018）に準拠した条件とする。

$$0.9 \leq L_r \quad (= P_{rb} / PL) \leq 1.0 \quad \cdots (1)$$

$$1.0 \leq k \quad (= a_f / w_{rb}) \leq 1.5 \quad \cdots (2)$$

ここで、

P_{rb} ：逆曲げ処理11Bでの最大荷重

PL ：逆曲げ処理11Bでのリミットロード

a_f ：逆曲げ処理11Bで導入される疲労き裂の長さ

w_{rb} ：逆曲げ処理11Bで生じる圧縮塑性域寸法

である。

[0021] 例えば、クリップゲージを切欠き2の端部（付け根側）に取り付けて、逆

曲げ時の切欠き 2 の開口量が所定値となるように制御する。また、その制御を行いつつ、逆曲げ時の最大荷重 P_{rb} を測定する。

また、リミットロード PL は、下記式によって求めることができる。

$$PL = \{B (W - a_m)^2 / (S_o - S_i)\} \cdot \sigma$$

ここで、

B : 試験片 1 の板厚

W : 試験片 1 の板幅

a_m : 切欠き長さ (切欠き 2 の深さ)

S_o : 4 点曲げの外側のスパン

S_i : 4 点曲げの内側のスパン

σ : 試験片 1 の室温での降伏応力

である。

[0022] そして、求めた最大荷重 P_{rb} とリミットロード PL との比から、パラメータ L_r を求めた。

また、圧縮塑性域寸法 w_{rb} は、下記式から算出した。

$$w_{rb} = (\pi / 8) \cdot (K_{rb} / (L \cdot \sigma))^2$$

ここで、

σ : 試験片 1 の室温での降伏応力

L : ノッチ拘束係数 (例えば、2.3)

K_{rb} : 応力拡大係数

である。

a_f は、切欠き 2 に導入された疲労き裂の長さの平均値であり、長さが最小の疲労き裂長さを a_{min} とする。なお、この疲労き裂長さ a_f は、CTOD 試験 20 の試験後に測定した。

[0023] (CTOD 試験 20)

上記のように、機械切欠き 2 に疲労き裂を導入して CTOD 試験 20 用の試験片 1 を作製する。

そして、作製した試験片 1 に対して、図 5 のような構成で、公知の方法で

C T O D 試験 2 0 を行う。そして、試験片 1 の破面から、溶接部 1 C の破壊靱性を評価する。なお、図 5 に示す寸法は例示である。

[0024] (効果)

本実施形態は、板厚 1 2 5 m m 以上の溶接継手から採取した試験片 1 に関する。本実施形態では、3 点曲げ C T O D 試験 2 0 用の試験片 1 を作製する際に、疲労き裂を導入する前処理としての逆曲げ法（逆曲げ処理 1 1 B）を施す。このとき、逆曲げ法において、(1) 式及び (2) 式を満足する条件とする。これにより、本実施形態では、試験片 1 の内部及び表面共に、残留応力が均一に除去される。この結果、本実施形態では、疲労き裂の直進性が担保できるようになる。

そして、本実施形態に基づいた試験片 1 の作製方法を用いれば、板厚 1 2 5 m m 以上の溶接継手からなる試験片 1 に対する 3 点曲げ C T O D 試験 2 0 において、有効な試験結果を得ることができる。

[0025] (その他)

本開示は、次の構成も取り得る。

(1) 鋼板を突合わせ溶接した突合せ溶接継手からなる、3 点曲げ C T O D 試験 2 0 の試験片 1 を作製する方法であって、

上記試験片 1 の板厚を 1 2 5 m m 以上とし、

上記試験片 1 に切欠き加工 1 1 A を行った後に、上記切欠き加工 1 1 A で形成した切欠き 2 が閉じる方向に逆曲げ処理 1 1 B を行って、上記切欠き 2 に疲労き裂を導入して試験片 1 とし、

上記逆曲げ処理 1 1 B が下記 (1) 式及び (2) 式を満足する。

$$0.9 \leq L_r \quad (= P_{rb} / P_L) \leq 1.0 \quad \cdots (1)$$

$$1.0 \leq k \quad (= a_f / w_{rb}) \leq 1.5 \quad \cdots (2)$$

ここで、

P_{rb} : 逆曲げ処理 1 1 B での最大荷重

P_L : 逆曲げ処理 1 1 B でのリミットロード

a_f : 逆曲げ処理 1 1 B で導入される疲労き裂の長さ

w r b : 逆曲げ処理 1 1 B で生じる圧縮塑性域寸法である。

実施例

[0026] 次に、本実施形態に基づく実施例について説明する。

(試験片 1)

材料 S M 4 9 0 B からなる鋼板から試験片 1 を作製した。試験片 1 の板厚及び板幅として、一辺が 1 5 0 m m 又は 1 2 5 m m からなる正方形断面の試験片 1 を用いた。各試験片 1 は、溶接ワイヤ K C - 6 0 を用いた F C A W (入熱 3 . 0 k J / m m) 溶接で突合せ溶接を行って、試験片 1 としての突合せ溶接継手を作製した。

切欠き加工 1 1 A では、I S O 1 5 6 5 3 (2 0 1 8) に準拠した条件で実行した。そして、試験片 1 に切欠き 2 を形成した。

[0027] 次に、表 1、表 2 に示す条件にて、各試験片 1 に対し逆曲げ処理 1 1 B を施した。そして、C T O D 試験片 1 を作製した。

そして、各試験片 1 に C T O D 試験 2 0 を行い、試験後の破面を測定して、各試験片 1 の疲労き裂進展量 $a_f (= a_0 - a_m)$ を求めた。その最小値 a_{fmin} を表 1、表 2 に示す。

表 1、表 2 に試験結果を示す。

[0028]

[表1]

	No.	材料	降伏応力 σ [MPa]	試験片寸法				4点曲げスパン	
				板厚	試験片幅	機械切欠き	疲労亀裂長さ	外スパン	内スパン
				B [mm]	W [mm]	am [mm]	af [mm]	So [mm]	Si [mm]
実施例	1	SM490B	348	125	125	57.9	5.1	610	305
実施例	2	SM490B	348	125	125	54.5	8.6	610	305
実施例	3	SM490B	348	125	125	57.0	6.3	610	305
実施例	4	SM490B	348	125	125	49.5	14.0	610	305
実施例	5	SM490B	348	150	150	70.0	7.0	610	305
実施例	6	SM490B	348	150	150	65.5	10.2	610	305
実施例	7	SM490B	348	150	150	68.0	8.4	610	305
実施例	8	SM490B	348	150	150	60.0	16.0	610	305
比較例	9	SM490B	348	125	125	60.9	0.7	610	305
比較例	10	SM490B	348	125	125	59.9	0.4	610	305
比較例	11	SM490B	348	125	125	57.0	1.2	610	305
比較例	12	SM490B	348	125	125	49.5	7.2	610	305
比較例	13	SM490B	348	150	150	70.0	2.3	610	305
比較例	14	SM490B	348	150	150	65.5	5.1	610	305
比較例	15	SM490B	348	150	150	68.0	3.2	610	305
比較例	16	SM490B	348	150	150	60.0	7.6	610	305

*1 最小疲労き裂進展量 板厚 125mm の場合 : 3.1mm 以上、板厚 150mm の場合 : 3.7mm 以上

[表2]

	No.	逆曲げ / 疲労荷重				逆曲げ塑性域		逆曲げパラメータ		試験結果	
		拘束係数	逆曲げ最大荷重	最大疲労荷重	最小疲労荷重	Krb [N/mm ^{3/2}]	ω_{rb} [mm]	Lr (Prb/PL)	k (af/ ω_{rb})	最小疲労き裂進展量 (mm)	試験片の有効判定 *1
		L	Prb [kN]	Pfmax [kN]	Pfmin [kN]						
実施例	1	2.3	578	112	11	2721	4.5	0.9	1.1	4.8	有効
実施例	2	2.3	638	112	11	3011	5.6	0.9	1.5	8.4	有効
実施例	3	2.3	659	112	11	3129	6.0	1.0	1.0	6.0	有効
実施例	4	2.3	813	112	11	3877	9.2	1.0	1.5	13.5	有効
実施例	5	2.3	986	177	18	3032	5.6	0.9	1.2	5.7	有効
実施例	6	2.3	1100	177	18	3290	6.6	0.9	1.5	10.0	有効
実施例	7	2.3	1151	177	18	3494	7.5	1.0	1.1	7.2	有効
実施例	8	2.3	1386	177	18	4173	10.7	1.0	1.5	15.8	有効
比較例	9	2.3	352	112	11	1598	1.6	0.6	0.4	0.0	無効
比較例	10	2.3	363	112	11	1596	1.6	0.6	0.3	0.0	無効
比較例	11	2.3	462	112	11	1930	2.3	0.7	0.5	0.0	無効
比較例	12	2.3	569	112	11	2295	3.2	0.7	2.2	0.0	無効
比較例	13	2.3	657	177	18	1831	2.1	0.6	1.1	0.0	無効
比較例	14	2.3	733	177	18	1973	2.4	0.6	2.1	0.0	無効
比較例	15	2.3	806	177	18	2194	3.0	0.7	1.1	0.0	無効
比較例	16	2.3	970	177	18	2460	3.7	0.7	2.0	0.0	無効

*1 最小疲労き裂進展量 板厚 125mm の場合 : 3.1mm 以上、板厚 150mm の場合 : 3.7mm 以上

[0030] (評価)

疲労き裂の直進性は、疲労き裂進展量 a_f の最小値 a_{fmin} に基づき評

価した。そして、最小値 a_{fmin} が、 $2.5\%W$ 以上の場合に、疲労き裂の直線性が有効と判定した。

ここで、板厚 125 mm の場合、 $2.5\%W$ は 3.1 mm とし、板厚 150 mm の場合、 $2.5\%W$ は 3.7 mm とした。

表 2 から分かるように、 L_r が 0.9 以上 1.0 以下の範囲である各実施例では、疲労き裂の直進性の判定結果が有効判定となった。

一方、 L_r が 0.7 以下の比較例の条件ではすべて疲労き裂の直進性の判定結果が無効判定となった。

このように、板厚が 125 mm 以上の場合、 L_r を 0.9 以上 1.0 以下の範囲に限定して実行する必要があることが分かった。

[0031] ここで、本願が優先権を主張する、日本国特許出願 $2022-110976$ (2022 年 7 月 11 日出願) の全内容は、参照により本開示の一部をなす。ここでは、限られた数の実施形態を参照しながら説明したが、権利範囲はそれらに限定されるものではなく、上記の開示に基づく各実施形態の改変は当業者にとって自明なことである。

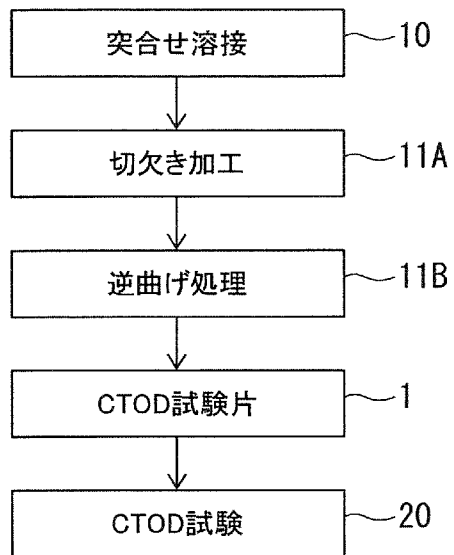
符号の説明

[0032] 1 試験片
2 切欠き
10 突合せ溶接
11A 切欠き加工
11B 逆曲げ処理
20 CTOD 試験
30 試験機
60 角度
B 板厚
W 板幅
a f 疲労き裂進展量

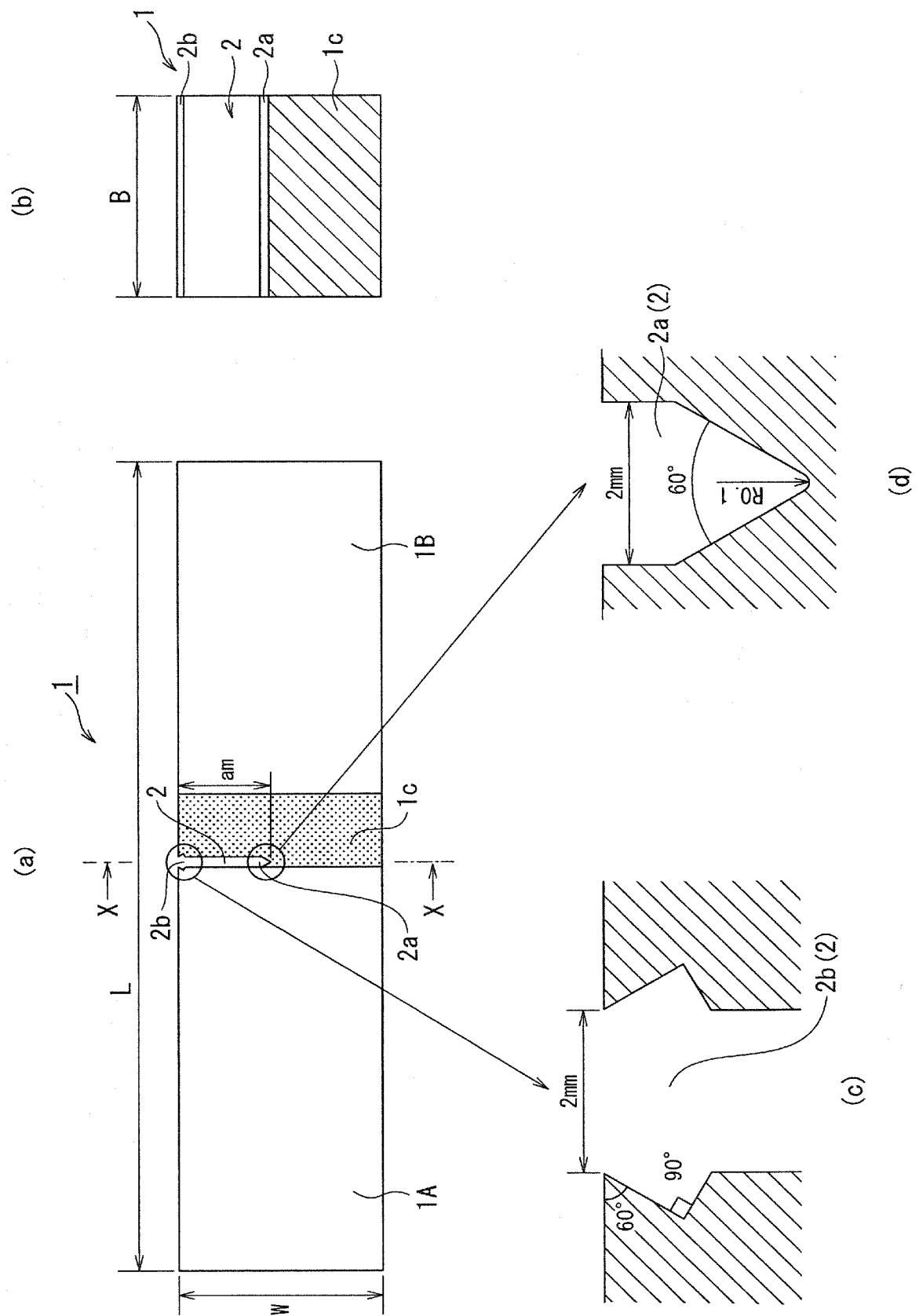
請求の範囲

- [請求項1] 鋼板を突合わせ溶接した突合せ溶接継手からなる、3点曲げCTOD試験の試験片を作製する方法であって、
- 上記試験片の板厚を125mm以上とし、
- 上記試験片に切欠き加工を行った後に、上記切欠き加工で形成した切欠きが閉じる方向に逆曲げ処理を行って、上記切欠きに疲労き裂を導入して試験片とし、
- 上記逆曲げ処理が下記(1)式及び(2)式を満足する、3点曲げCTOD試験片の作製方法。
- $$0.9 \leq L_r \quad (= P_{rb} / PL) \leq 1.0 \quad \dots (1)$$
- $$1.0 \leq k \quad (= a_f / w_{rb}) \leq 1.5 \quad \dots (2)$$
- ここで、
- P_{rb} : 逆曲げ処理での最大荷重
- PL : 逆曲げ処理でのリミットロード
- a_f : 逆曲げ処理で導入される疲労き裂の長さ
- w_{rb} : 逆曲げ処理で生じる圧縮塑性域寸法
- である。

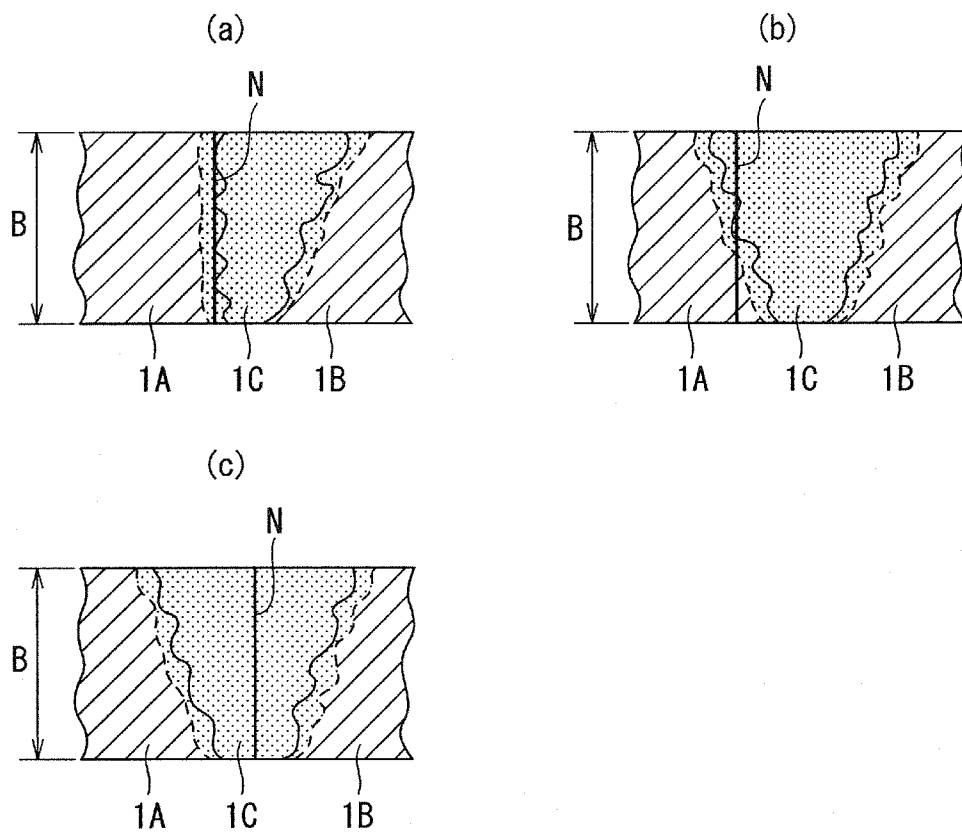
[図1]



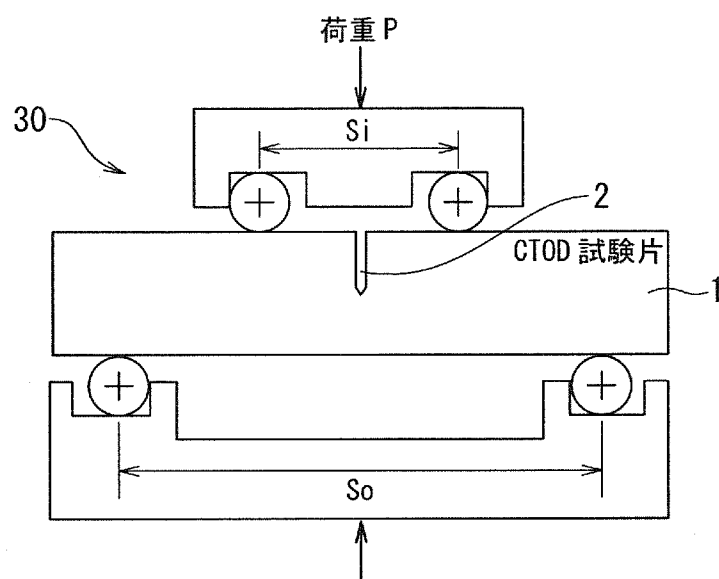
[図2]



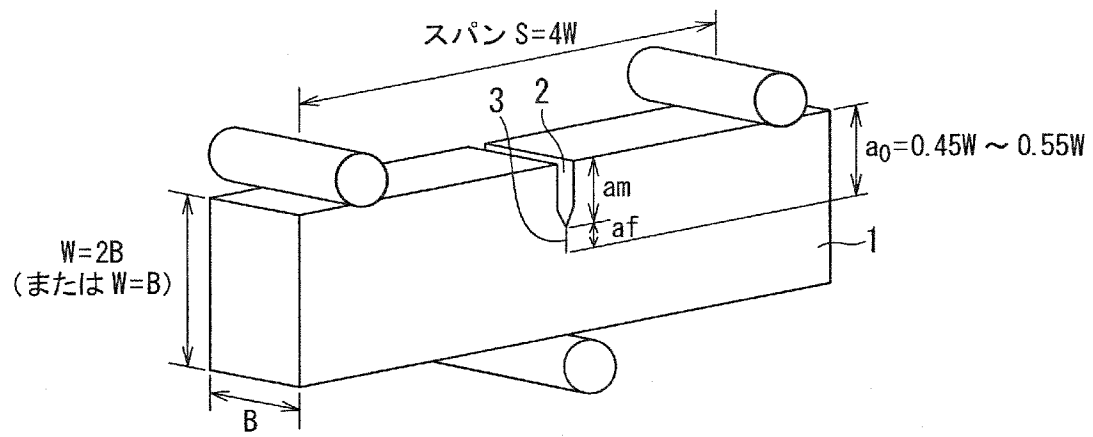
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01N 3/00</i> (2006.01)i; <i>G01N 3/20</i> (2006.01)i FI: G01N3/00 U; G01N3/20; G01N3/00 Q 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; G01N1/28 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/088273 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 17 May 2018 (2018-05-17) entire text, all drawings	1
A	JP 2015-135324 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 27 July 2015 (2015-07-27) entire text, all drawings	1
A	WO 2019/102912 A1 (JFE STEEL CORP.) 31 May 2019 (2019-05-31) entire text, all drawings	1
A	森影康、半田恒久、田川哲哉、池田倫正, “極厚溶接継手CTOD試験時の各種残留応力緩和法による予亀裂形状制御の効果”, 溶接学会全国大会講演概要 (平成30年度春季全国大会), 24 June 2018, vol. 102, (session ID: 317), pp. 142, 143, https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2018s.0_142 , (MORIKAGE, Yasushi, HANDA, Tsunehisa, TAGAWA, Tetsuya, IKEDA, Rinsei. Effect of pre-crack straightness control by various pre-treatments against weld residual stress in extremely thick welded joint CTOD specimen. Preprints of the National Meeting of JWS.) entire text, all drawings	1
☒ 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 28 July 2023		Date of mailing of the international search report 08 August 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020864

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	川畑友弥, “溶接部破壊靱性評価法の革新 — 予亀裂形状問題克服技術の歴史と到達点 —”, 日本船舶海洋工学会誌, 10 July 2022, vol. 103, pp. 16-25, https://doi.org/10.14856/kanrin.103.0_16 , (KAWABATA, Tomoya. Bulletin of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers.), non-official translation (Innovation of fracture toughness evaluation method of weld fracture -History and achievement of technology for overcoming pre-crack shape problem-.) entire text, all drawings	1
A	北野萌一, “逆曲げ処理による疲労予き裂形状改善条件の明確化とWES規格の改正”, 日本船舶海洋工学会誌, 10 July 2022, vol. 103, pp. 39-44, https://doi.org/10.14856/kanrin.103.0_39 , (KITANO, Hoichi. Bulletin of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers.), non-official translation (Clarification of conditions for improving fatigue crack shape by reverse bending and revision of WES standards.) entire text, all drawings	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/020864

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2018/088273	A1	17 May 2018	US	2020/0072719	A1	
				EP	3540408	A1	
				CN	109964110	A	
				KR	10-2019-0077503	A	
JP	2015-135324	A	27 July 2015	(Family: none)			
WO	2019/102912	A1	31 May 2019	US	2020/0333225	A1	
				EP	3715823	A1	
				KR	10-2020-0064138	A	
				CN	111433585	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 3/00(2006.01)i; G01N 3/20(2006.01)i FI: G01N3/00 U; G01N3/20; G01N3/00 Q		
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）） G01N3/00-3/62; G01N1/28		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2018/088273 A1（新日鐵住金株式会社）17.05.2018（2018-05-17） 全文，全文	1
A	JP 2015-135324 A（新日鐵住金株式会社）27.07.2015（2015-07-27） 全文，全文	1
A	WO 2019/102912 A1（JFEスチール株式会社）31.05.2019（2019-05-31） 全文，全文	1
A	森影康、半田恒久、田川哲哉、池田倫正，“極厚溶接継手CTOD試験時の各種 残留応力緩和法による予亀裂形状制御の効果”，溶接学会全国大会講演概要（平 成30年度春季全国大会），2018.06.24，第102集，（セッションID：31 7）pp.142-143， https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2018s.0_142 全文，全文	1
A	川畑友弥，“溶接部破壊靱性評価法の革新－予亀裂形状問題克服技術の歴史と到 達点－”，日本船舶海洋工学会誌，2022.07.10，103巻，pp.16-25， https://doi.org/10.14856/kanrin.103.0_16 全文，全文	1
☒ 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、一般的な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抵 触するものではなく、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 28.07.2023	国際調査報告の発送日 08.08.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山口 剛 2J 9806 電話番号 03-3581-1101 内線 3250	

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	北野萌一，“逆曲げ処理による疲労予き裂形状改善条件の明確化とW E S規格の改正”，日本船舶海洋工学会誌，2022.07.10，1 0 3 巻，pp.39-44， https://doi.org/10.14856/kanrin.103.0_39 全文，全図	1

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/020864

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2018/088273	A1	17.05.2018	US	2020/0072719	A1	
				EP	3540408	A1	
				CN	109964110	A	
				KR	10-2019-0077503	A	
JP	2015-135324	A	27.07.2015	(ファミリーなし)			
WO	2019/102912	A1	31.05.2019	US	2020/0333225	A1	
				EP	3715823	A1	
				KR	10-2020-0064138	A	
				CN	111433585	A	