

御指摘の通り、Fig. 7 から、座屈崩壊後の除荷過程(繰り返し数 1 回)で微小亀裂が発生する限界の歪量は約 50% となっており、10 回程度の繰り返しで微小亀裂が発生する限界の歪量は約 1/2、さらに 100 回程度の繰り返しで微小亀裂が発生する限界の歪量は約 1/4 となっております。

この結果は、試験片寸法(断面形状など)、表面の粗さ、溶接部(歪集中部)の有無などにより当然変化するものと考えられます。今後、これらの問題について、さらに検討していく予定です。

70 超音波探傷による欠陥検出と破壊強度評価

【討論】 道場 康二 君 (1) 欠陥高さの推定にあたり、超音波自動探傷で得られた欠陥の画像を利用する方法を用いられたようですが、本論文の構成からみて重要な点だと思いますので、これについて詳細な説明をお願い致します。また、欠陥長さについては 4 方向の平均をとる L/2 線カット法が最適であるにも関わらず、欠陥高さにおいて 4 方向の平均をとる L 線カット法が最適となるのは何故ですか。

(2) 結言で、超音波自動探傷により得られた測定寸法に基づく強度評価の有効性が示されたとありますが、Fig. 10 で得られるような実欠陥寸法と測定寸法との相関性が検討結果の前提になっております。ここで用いられた超音波自動探傷による欠陥高さの推定方法は、板厚や欠陥の傾き、溶接継手における欠陥の位置、探触子の種類等の影響を受けるものと考えますが、このような影響因子を考慮しても Fig. 10 ならびに Fig. 13 のような結果が安定して得られると考えて良いのでしょうか。

(3) 破壊力学の立場から非破壊検査に求められる精度とは、具体的にどの程度と考えればよいのでしょうか。

【回答】 (1) 本研究で用いた超音波自動探傷装置は、超音波自動探傷の検査結果を記録し、それをコンピュータ上で表示することができます。探傷は、1 mm ピッチで行いデータを収録しています。欠陥の位置の推定については、超音波ビームの入射点、屈折角及び入射点から欠陥までのビーム路程を正確に知った上で、三角関数を用いて欠陥の位置を計算し、コンピュータ画面上にプロットします。従って、敷居値を L 線に設定した場合、L 線以上の反射エコーの得られるプロット点を集積したものが欠陥の画像として表示されます。また欠陥長さについては L/2 線カット法を、欠陥高さについては L 線カット法を採用したのは、破面より観察して得られる欠陥の寸法と測定寸法とを比較し、最も相関の良いものを選択した結果で、他の物理的な理由はありません。

(2) 欠陥の傾きの影響は当然考えられます。ただ 4 方向の平均を取ると、傾きの影響が相殺されるようで、それなりの相関が得られます。また、面状の溶接欠陥(割れ、溶込み不良、融合不良)は、開先角度と探傷屈折角の関係が影響します。今後超音波自動探傷のデータを蓄積し、検証する必要があります。

(3) 本研究では、超音波自動探傷による測定寸法を用いての予想破壊荷重と、破壊荷重とが一致することを理想としています。しかし、実際には様々な不確実性の要因があり、完全に一致させることは困難です。本研究では仮定的に Fig. 14 の 2 シグマ範囲による評価を検討しましたが、まだ超音波自動探傷と破壊力学的強度評価を直列的に行った研究のデータが十分とは言えず、今後さらにデータを蓄積しより定量的な評価を行う必要があります。

【討論】 中村 哲也 君 (1) Figs. 7, 8 の L 線カット法と、L/2 線カット法を比較しますと、表面欠陥に比べて埋没欠陥の測定長さが大きく変化しております。これはどのような理由によるものでしょうか。

(2) 本論で対象とされている欠陥は垂直な欠陥ですが、実構造では探傷面に対して傾斜した欠陥が存在します。あるいは供用後の検査を考えた場合には、き裂先端が閉口している疲労き裂も検査対象と考えられます。これらのき裂に対しても、L/2 線カット法は有効とお考えでしょうか。

【回答】 (1) 超音波自動探傷のデータ結果を調べてみた結果、表面欠陥は直射法と一回反射法とでは測定結果にあまり差がありませんでした。しかし、埋没欠陥は直射法と一回反射法とでは測定結果に大きな差があるケースが目立ちました。したがって、4 方向の平均を取る場合、表面欠陥と埋没欠陥の間には顕著な差が表れます。このことは、埋没欠陥のうち 4 体が X 開先で、傾きがあったことと関係があるかもしれません。このような理由により、表面欠陥に比べて埋没欠陥の測定長さが大きく変化したものと思われます。

(2) 欠陥の傾きの影響は、当然考えられます。しかし、4 方向の平均値を取ると、傾きの影響が相殺されるようで、それなりの相関が得られます。き裂先端が閉口している疲労き裂については、完全に閉口している場合超音波が反射しないので、欠陥エコーをとらえることができませんが、そのような箇所はき裂先端のごく限られた範囲になると思われる、き裂全体で考えれば超音波で有効なデータが得られると思います。

【討論】 寺田 博之 君 (1) 欠陥長さの推定は L/2 線カットで 4 方向の平均値をとる方法、高さの推定は L 線カット × 0.5 で求める方法を提案されているが、高さの推定

においても $L/2$ カットの値を用い、係数 0.5 を調整することなどで近似が可能であれば、き裂形状の同定法が統一できて便利のように思いますが、それでは近似精度が悪くなってしまうでしょうか。

(2) Fig. 3 の欠陥形状は、上 2 つが IP、下 2 つが LF の場合の例と思いますが、() 内の数値は何を表わしているのでしょうか。

【回答】(1) 欠陥長さの推定は $L/2$ 線カットで 4 方向の平均値を取る方法、欠陥高さの推定は L 線カットで 4 方向の平均値を取って係数 0.5 をかける方法を提案したのは、最も相関の良いものを選択した結果です。高さの推定で $L/2$ 線カットの値を用いると、近似精度は大幅に悪くなります。長さと高さで同定法を統一する場合は、長さの推定を L 線カットで 4 方向の最大値を取り、 L 線で統一した方が $L/2$ 線で統一するよりも良いですが、本研究でも述べたように $L/2$ 線カットで 4 方向の平均値を取る方法に比べると近似精度は悪くなります。超音波探傷では、長さの測定では左右走査を、高さの測定では前後走査を行うことになりませんが、左右走査と前後走査する場合では超音波の伝わり方が違ってくるので、長さと高さの同定法が異なるのはやむを得ないと思います。

(2) Fig. 3 の() 内の数字は、試験体の整理番号です。他の意味はありません。

【討論】 松下 久雄 君 (1) 図 2 の δ_c 値と(1)式を用いて K_c 値を計算されているものと思います。延性き裂の発生しない場合の局部的な溶接欠陥先端部の破壊靱性と同様と考えてよろしいでしょうか。

(2) 溶接試験体の積層法、溶接入熱量等の溶接条件はどのようになっていますか。

(3) $L/2$ 線カット法が実用的とのことですので、その物理的意味(たとえば、図 3 の欠陥面積率などとの関連性)について。

(4) 引張試験の場合、角変形の影響を受けたような考察をされておられますので今後この角変形の影響についても、それぞれの研究を進められるのでしょうか。

【回答】(1) 人工溶接欠陥先端部の破壊じん性と同様と考えて、差し支えありません。

(2) 溶接継手の製作には、TIG 溶接および被覆アーク溶接を用いました。開先形状は 60 度の V 開先とし、ルートギャップ 2.5~3.1 mm、ルートフェイス 0.8~2.4 mm としました。初層の裏波溶接では TIG 溶接を用い、その他の部分は引き続き TIG 溶接を用いたものもありますが、主に作業効率を考えて被覆アーク溶接を用いました。溶接材料は、母材の強度より少し高め強度を持つ材料(少しオーバーマッチング)を選定しました。溶接姿勢は下向き、極性は逆極性(溶接棒がマイナスとなる極性)であり、板厚 19 mm に対して 9~11 層で溶接を行いました。なお、人工溶接欠陥の周りだけは溶かさないように入熱量を調節していますが、それ以外の範囲では母材温度が 150 度を超えないように注意はしましたが、通常の手溶接と同等に行っています。また、K 開先も V 開先とほぼ同様に実施しました。

(3) 欠陥長さの推定で、 $L/2$ 線カットで 4 方向の平均値を取る方法を提案したのは、最も相関の良いものを選択した結果です。他の物理的意味はありません。

(4) 角変形の影響については、本研究では厳密に角変形量を測定していなかったため、今後は角変形の影響についても定量的な研究を行う必要があります。

76 繰返し荷重下の船体用構造材料の変形挙動と強度特性に関する研究(その4)

【討論】 大橋 鉄也 君 (1) 結晶方位を、荷重軸が $[1/\sqrt{6}, 1/\sqrt{6}, 1/\sqrt{3}]$ 方向を向くような方位としたとありますが、このような 2 重すべり方位を選んだ理由は何でしょうか。単一すべり方位を初期方位とした場合に得られる結果と、本論文で得られた結果との違いはどのようになるとお考えでしょうか。

(2) 潜在硬化の程度を表すパラメータ q の値を、本論文で用いた値より大きく、又は小さくした場合に、本論文で言う交差すべりは生じやすくなるのかまたは生じにくくなるのか、どのようにお考えでしょうか。

(3) 式(9)で与えられている背応力の表現について、金属学的な描像としてどのようなものをお考えでしょうか。

【回答】(1) 結晶方位は、有限回の定常変形のあと局所

塑性変形が局在化するような方位を試行錯誤で見出すことにより決定しましたが、その結果が 2 重すべり方位になりました。単一すべり方位で負荷した場合は、潜在系すべりの活動が困難になると考えられますので、方位以外の計算条件を全く同じにして計算しても変形の局在化が起きにくくなると考えます。

(2) q を大きくすると、潜在すべり系の臨界剪断応力上昇の割合が大きくなって活動しにくくなり、変形の局在化、非可逆すべり発生が起きにくくなると考えます。

(3) 詳細な検討はしておりませんが、障害物で堆積した転位群が作る、逆方向負荷の臨界剪断応力を低下させる長範囲応力場のようなものをイメージしております。

【討論】 田川 哲哉 君 (1) 不均一局所変形の生じる要因はモデルに与えられた初期不整にあるようですが、こ