

(平成 22 年 2 月 3 日提出)

Keywords: 鋼、異方性、へき開破壊、破面形態、シミュレーション

1. 緒言

近年、様々な分野においてエネルギー問題についての話題が持ち上がっている。この問題に効果的なものとして天然ガスがある。そのため、天然ガスをより効率よく、そして経済的に運搬することが課題である。その解決策の1つがパイプラインでの運搬だ。そして、高強度のパイプラインを作ることによってコストも削減できる。

本実験では、高強度鋼管の問題点である靱性異方性や異常破面という問題のメカニズムを解明するため、強度の異なる2つの鋼材について実際のへき開破壊とシミュレーション破面とを比較・検討する。

2. 理論

2.1 応力拡大係数

応力拡大係数 K は、応力と変位によって決まり、き裂先端で考えた座標系に無関係なパラメータによってき裂先端近傍の応力場を一義的に記述することができる係数である。

2.2 集合組織

多くの材料は多数の結晶粒の集合体であり、各結晶粒の内部では原子が正しく配向している。しかし、その配向の向きは結晶粒ごとで異なるため、多結晶体でも様々な製造過程を経て、配向の統計的偏り、すなわち優位方向が決定する。この優位方向をもつ多結晶体の結晶方位分布状態を集合組織という。

特定結晶面の極点位置をステレオ投影図上に描記したものを正極点図という。集合組織の場合、この正極点図は結晶異方性という特徴があるため、

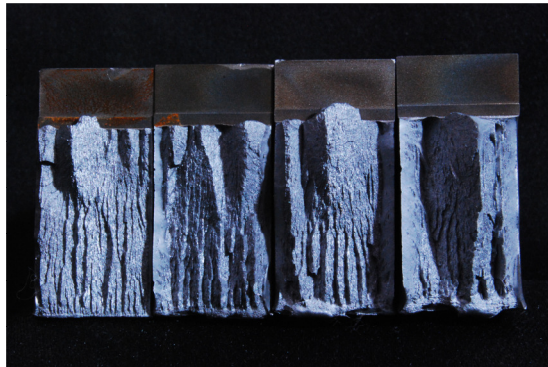


Fig.1 Picture of cleavage fracture surface

投影点がある部分に集中する。

3. 実験

X65 および X120 鋼材をそれぞれ -40°C , -60°C , -80°C , -100°C で落重試験をおこなった。得られたデータから荷重-変位曲線を描き、破壊にかかるエネルギーを導き出した。

また、破面の様子を目視で観察、考察した。破面の一例の写真を Fig.1 示す。

4. 解析

4.1 解析モデル

結晶粒界からの微小距離 r_c において σ_n^{\max} が局所的な限界応力 σ_c をこえている場合に、その結晶粒内でへき開き裂が伝播できるものと仮定すると、

$$\sigma_n^{\max} \geq \sigma_c \quad (1)$$

が伝播の条件となる。

この応力を評価するために局所応力拡大係数を近似計算した。このとき、①き裂先端が非直線②表面の不規則さ③へき開面の隆起(ridge)を考慮した。こうして応力拡大係数を求めると(1)式は、

$$K_{eq-normal} \geq K_{c-local} \quad (2)$$

となる。ここで、

$$K_{eq-normal} = \sigma_n^{\max} \sqrt{2\pi r_c} \quad (3)$$

$$K_{c-local} = \sigma_c \sqrt{2\pi r_c} \quad (4)$$

である。この $K_{c-local}$ を変化させてシミュレーションした。

4.2 解析結果

まず、EBSP 解析により集合組織を正極点図で表した。次に、OB の方にいただいた解析プログラムで、へき開破壊の破面形態をシミュレートした。正極点図の一例を Fig.2 に示す。Fig.2 を用いて、Fig.3 のシミュレーション破面を得られた。

これらの結果から、正極点図とシミュレーション破面の比較。そして、靱性値すなわち $K_{c-local}$ の値を変化させたときのシミュレーション破面の違いについて考察・検討した。

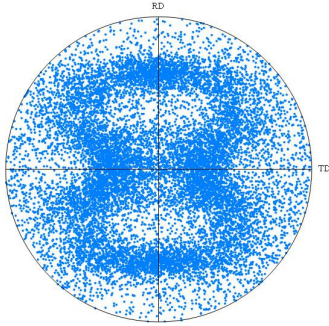
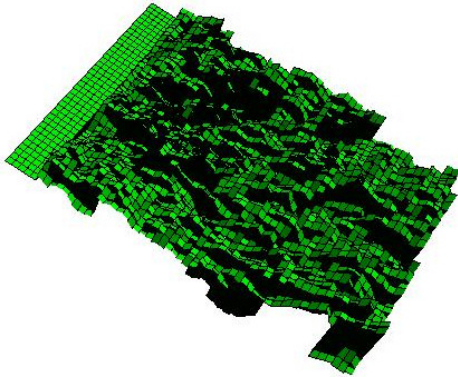
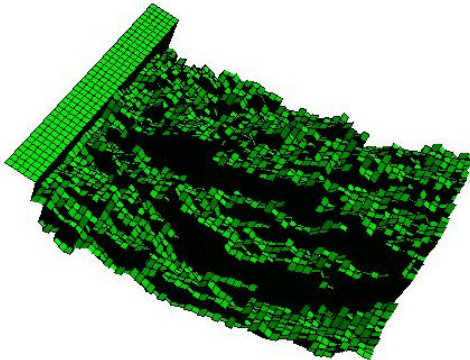


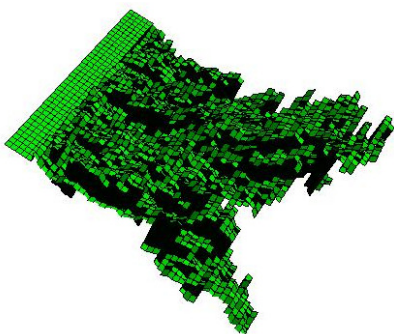
Fig2. pole figure



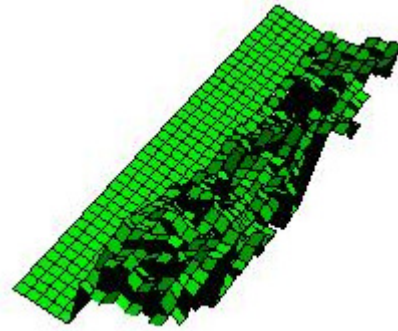
(a) $K_{c-local} = 3 \text{ MPa}\sqrt{m}$



(b) $K_{c-local} = 5 \text{ MPa}\sqrt{m}$



(c) $K_{c-local} = 10 \text{ MPa}\sqrt{m}$



(d) $K_{c-local} = 15 \text{ MPa}\sqrt{m}$

Fig.3 Simulation of steel

5. 結論

・目視での観察であったが、温度変化に伴う延性破壊面と脆性破壊面の出現の違い、試材の違いにともなう異方性による影響の差を実際にみることができ理解することができた。

・ $K_{c-local}$ が大きいと温度が高いということに等しい。Fig.3 のねじれや傾きと、実際の結果 Fig.1 はほぼ一致している。

参考文献

- 1) 杉本圭：鋼へき開破壊のマイクロ挙動観察と結晶粒レベル 3 次元シミュレーションによる解析：東京大学大学院 平成 20 年度修士論文 p3-12
- 2) 杉本圭・粟飯原周二・田中洋一：鉄と鋼 Vol.95(2009)p46-53：鋼のへき開き裂伝播の結晶粒レベル 3 次元シミュレーション