

背景・目的

構造物の健全性を保証するため、ヒート依存性が小さく、感度良く塑性予ひずみを検出・定量化する手法が求められてきた。塑性予ひずみを受けた316系低炭素ステンレス鋼SUS316L, SUS316NG鋼に特定の条件下で電気化学的エッチングを施すと、溝状の溶解痕が現出すること、溶解痕の数密度に基づいて塑性予ひずみが検出・定量化できることを見いだした。特に地震荷重を受けた場合など、室温より高い温度域で予ひずみを付与された材料においては、室温に比べ変形双晶密度が減少すると推察される。

本手法のBWR炉水温度域を中心とした室温より高い温度域における適用性を検討した。

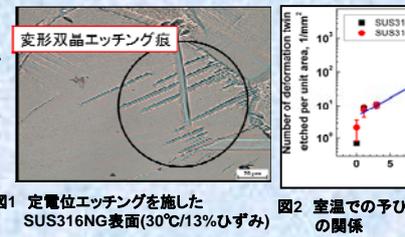


図1 定電位エッチングを施したSUS316NG表面(30°C/13%ひずみ) 図2 室温での予ひずみの関係

予ひずみ 0%と定義

SUS316NG 溶体化材(1050°C, 60min)  
表1 供試材の化学組成, wt%

| C     | Si   | Mn   | P     | S     | Ni    | Cr    | Mo   | Fe   |
|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0.016 | 0.51 | 1.36 | 0.025 | 0.001 | 11.30 | 17.51 | 2.05 | Bal. |

表2 塑性ひずみ付与条件

| Temp. (°C) | True strain (%) |     |   |   |    |      |      |
|------------|-----------------|-----|---|---|----|------|------|
|            | 1               | 2.5 | 6 | 8 | 13 | 16.5 | 22.5 |
| 30         |                 |     |   |   |    |      |      |
| 50         |                 |     |   |   |    |      |      |
| 75         |                 |     |   |   |    |      |      |
| 100        |                 |     |   |   |    |      |      |
| 200        |                 |     |   |   |    |      |      |
| 250        |                 |     |   |   |    |      |      |
| 300        |                 |     |   |   |    |      |      |

エッチング条件  
NO<sub>3</sub>  
mV<sub>SCE</sub>

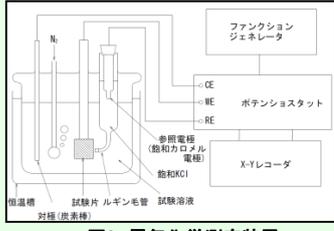


図3 電気化学測定装置

※参照電極には飽和カロメル電極を用い、電位はSCEで表示

試験方法

- エッチング結果の整理
  - 13%塑性ひずみ材における変形双晶エッチング痕密度と温度の関係
  - ひずみ付与温度250°Cにおける塑性ひずみと変形双晶エッチング痕密度の関係性を調査した
- 浅いエッチング痕による整理
  - 変形双晶エッチング痕とは様相の異なる浅いエッチング痕が現出していた
  - 浅いエッチング痕においても変形双晶エッチング痕と同様に数密度による整理を行った
- 浅いエッチング痕とすべり変形の関係調査
  - 平板試験片のゲージ部を鏡面研磨し、250°Cで真ひずみ13%(ひずみ速度0.1%)
  - ゲージ部に現出したすべり線と、同一箇所におけるエッチング痕の方向、間隔を
  - EBSDによるエッチング痕現出面の結晶方位解析を行った



図4 定電位エッチングSUS316NG表面(30°C/13%ひずみ)

試験結果

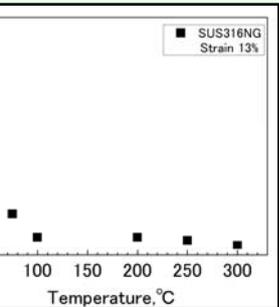


図5 変形双晶エッチング痕密度と温度の関係

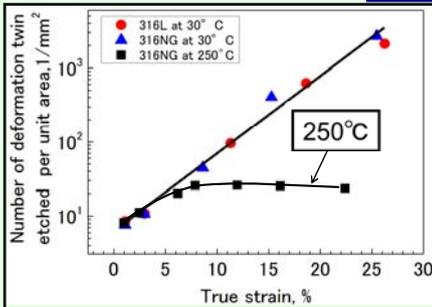


図6 変形双晶エッチング痕密度と塑性ひずみの関係

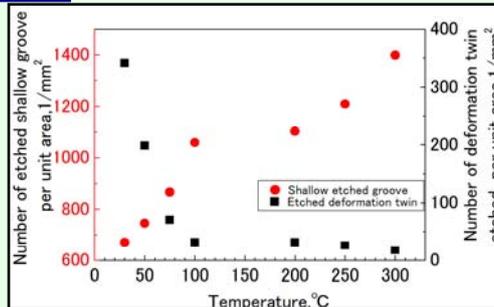


図7 エッチング痕密度と温度の関係

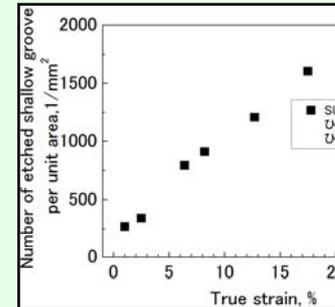
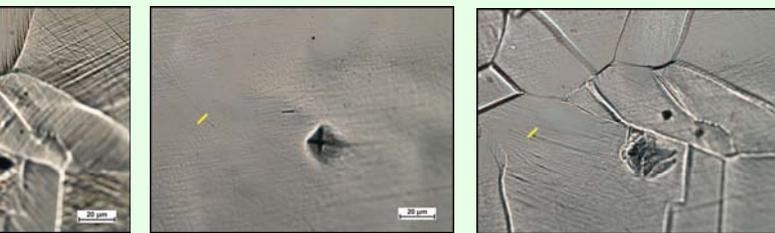


図8 浅いエッチング痕密度と塑性ひずみの関係

250°Cでの塑性ひずみ付与と変形双晶エッチング痕密度の関係

250°Cまではひずみ付与温度の上昇に伴いエッチング痕密度が急激に低下した。SUS316NGの塑性変形におけるすべり変形/双晶変形の遷移は30°C~100°C付近で起こることが示された。

250°Cひずみ付与のSUS316NGの結果は2.5%までは30°Cの結果に追従するが、6%以上ではほぼ横ばいとなってしまう、30°Cの結果とは異なる傾向を示していた。250°Cひずみ付与領域で付与された塑性ひずみについては、変形双晶エッチング痕密度を用いることが困難である。



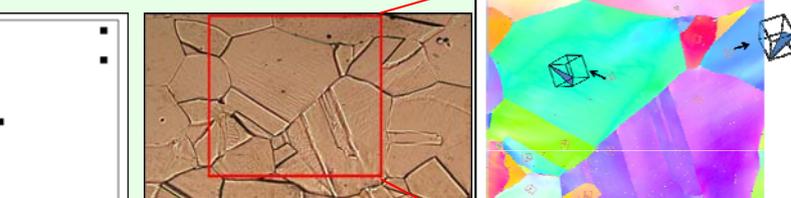
(b) 研磨後

(c) エッチング後

図9 試験片表面と黄線部のAFM計測結果(250°C, 13%)

定電位エッチング痕の関連調査

同一方向にエッチング痕が現出している。研磨後の(b)では除去され比較的平滑な表面になっており、エッチングにより再度、溝として現出。



定電位エッチング痕の特徴

- 予ひずみ付与温度上昇に伴い浅いエッチング痕密度は増加。
- 250°C塑性ひずみ材において浅いエッチング痕密度と塑性予ひずみの間に相関が認められる。

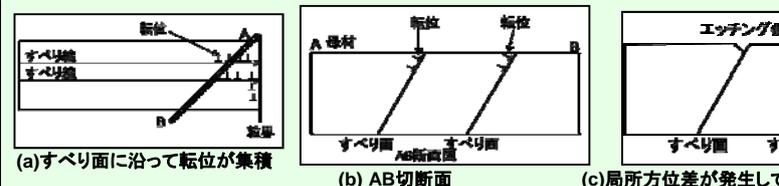


図12 エッチング痕の形成メカニズム

すべり線を起点としてエッチング痕の形成メカニズムに関する考察

すべり変形が起こり、すべりが粒界に到達し、発生した転位がすべり面に沿って集積の結果、すべり線近傍に結晶方位差が発生する。定電位エッチングにより母材面に対し、結晶方位の乱れた結晶面の溶解速度が高い優先的に溶解が進み、エッチング痕が形成。

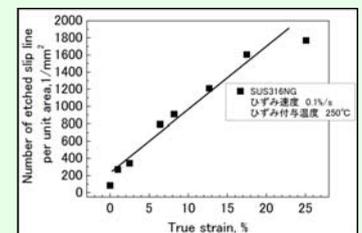


図13 250°C予ひずみ付与材における塑性予ひずみとすべり線エッチング痕密度の関係

すべり線エッチング痕密度と予ひずみの関係