

316系低炭素ステンレス鋼の塑性予ひずみ検出・定量化手法の開発

Development of for detection and quantification of pre existing plastic strain in type 316 low-carbon stainless steel

背景

機械部品や構造物の損傷評価と健全性保証のため、金属材料が有する塑性予ひずみを検出する技術の確立が求められている。

対象

- ・ 過大な荷重を受けた可能性のある機械部品
- ・ 地震荷重を受けた配管系などの柔構造物

そのため、これまでに様々な手法を用いて、金属材料が有する塑性予ひずみを検出する技術の研究・開発が行われている。

しかし、精度や定量性の問題、現場適用性、また検出原理が不明確な場合もあり、実用化されていないのが現状。

本研究では材料の電気化学的特性（エッチング特性）の変化に着目

エッチングの原理

- ・ エッチングとは腐食現象を応用した技術で、隣り合う粒・組織との溶解速度差により凹凸が生じ、金属組織として現出
- ・ 塑性変形では転位の生成・移動、すべり、双晶・異種相の形成など微視組織変
- ・ エッチングは微視組織の変化に敏感

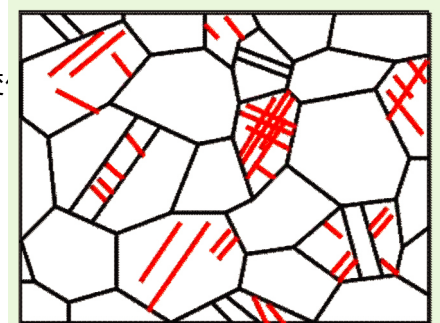


図1 微視組織エッチングのイメージ

塑性変形によって起きた微視組織変化を検出することによって
塑性予ひずみを評価可能であると考えた

目的

電気化学的手法を用いて、金属材料に与えられた予ひずみを非破壊で精度良く検出・測定する技術を確立する

▶ 本研究ではオーステナイト系ステンレス鋼の単純静的予ひずみを検出する技術の確立を目指す

供試材

・ 供試材・・・SUS316L

溶体化材（1150℃，30min）

予ひずみ0%と定義

表1 供試材の化学組成, wt%

Alloy	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
SUS316L	0.012	0.67	1.19	0.027	0.001	11.93	17.25	2.04	Bal.

・ 予ひずみ付与試験片

・・・平板試験片に加工

1, 3, 10, 20, 30%の静的予ひずみを付与
(ひずみ速度0.1%/s)

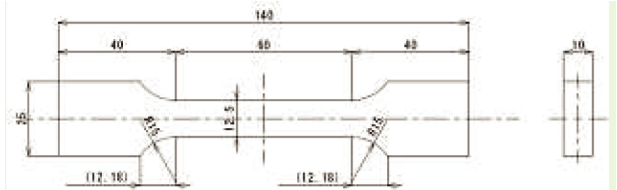


図2 予ひずみ付与試験片

・ 電気化学測定試験片

・・・樹脂埋後、表面を深さ100μm以上電解研磨
粒度3μmのダイヤモンドペーストで最終仕上

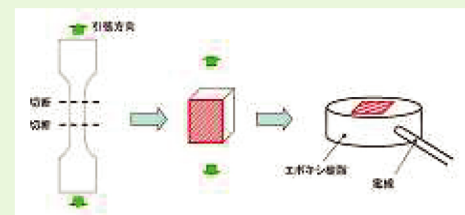


図3 電気化学測定試験片の作成方法

試験条件

最適なエッチング条件の探索

電位掃引試験

溶液 1N H₂SO₄, 1N HCl, 1N HNO₃
 温度 35 電位掃引速度 20 mV/min
 電位掃引範囲 -700 ~ 1800 mV_{SCE}

予ひずみ量の定量化

定電位エッチング

溶液 1N HNO₃ 温度 35 電位 -600 mV_{SCE} 時間 20 min
 エッチングされたすべり線の密度を計測

試験結果



図4 電位掃引後の試験片表面

図5 エッチング痕の結晶方位依存性

電位掃引後の試験片表面

- ・電位掃引後の予ひずみ付与材表面には多くの直線状のエッチング痕が観察された
- ・HNO₃ が最もエッチング痕を鮮明に観察できた溶液をHNO₃に決定
- ・溶体化材にはエッチング痕は殆ど観察されなかった

エッチング痕の特長

- ・エッチング痕は直線状
 - ・複数の結晶粒を貫くものは確認されなかった
 - ・観察面が引張方向に対して垂直になる試験片では、エッチング痕は結晶粒毎に異なり、様々な角度を成していた
- エッチング痕の正体を結晶学的な面から調査

結晶方位依存性

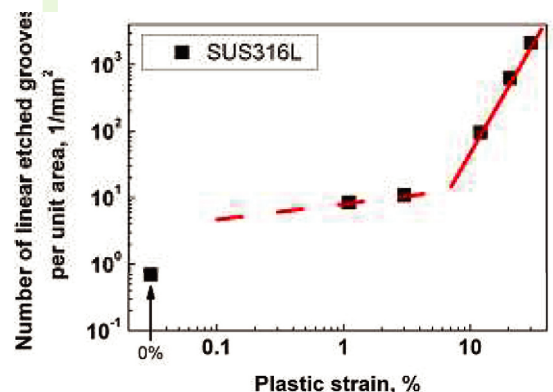


図6 エッチング痕密度

すべり線がエッチングされる電位探索

- ・種々の電位で定電位エッチングを行い、-700 ~ -400mV_{SCE} でエッチング痕が現出

予ひずみ量の定量化

- ・定電位エッチング(-600 mV_{SCE}, 20min)を行い、単位面積当たりのエッチングされたすべり線の数を読み、「エッチング痕密度」として定義
- ・エッチング密度と予ひずみの間には一対一の相関性が確認された。更に、予ひずみ量0%と1%の間には明確な差異が確認された

▶ 少なくとも1%の塑性ひずみを検出する感度を有する

まとめ

- ・予ひずみ材に適切な条件(1 N HNO₃, -600 mV_{SCE}, 20 min)で定電位エッチングを施すことにより線状のエッチング痕を現出させることが可能となった
- ・エッチングされたエッチング痕の密度を計測することによって少なくとも1%以上の予ひずみの検出が可能となった
- 今後の課題
 - ・エッチング痕の出現機構を解明する
 - ・単軸静的ひずみに限らず、繰り返しひずみ等の複雑なひずみ履歴への適用を行う