719

# EBSD による微視的な塑性ひずみ分布の観察 (結晶粒界における局所変形の定量評価)

㈱原子力安全システム研究所 釜谷昌幸

# Characterization of Plastic Strain Distribution by EBSD (Quantification of Localized Deformation near Grain Boundaries) Masayuki KAMAYA

# 1緒 言

溶接や加工などによって導入される塑性ひずみは、応 力腐食割れの発生や進展を促進するなど、材料の劣化挙 動に大きな影響を及ぼすことが指摘されている.塑性ひ ずみの分布は巨視的に一様な場合でも、微視的には均一 ではない.応力腐食割れが結晶粒界などから発生する局 所破壊現象であることを考えると、それに及ぼす塑性ひ ずみの影響を考察するためには、微視的に不均一な塑性 ひずみを定量的に評価することが必要となる.

EBSD (電子後方散乱回折)による結晶方位測定から 同定される局所的な方位差(局所方位差)は微視的な塑 性ひずみの分布と相関を有することが示されている<sup>1)</sup>. 本研究では,さらに局所方位差の分布を定量解析するこ とで,その特徴を考察した.とくに,結晶粒界近傍での 変形の局所化の程度を定量的に調べることを試みた.

## 2 局所方位差の同定

2.1 EBSD 測定方法 容体化処理した 316 ステンレス鋼 を,平行部長さ 20 mm,断面 2×4 mm<sup>2</sup>の平板試験片に 加工した.方位測定面をコロイダルシリカで仕上げ,引 張試験に供した.塑性ひずみが 0%, 0.55%, 1.7%および 3.0%の時に試験を中断し,試験片表面に設けた 250×250 µm<sup>2</sup>の測定領域の結晶方位を間隔(*h*<sub>o</sub>) 0.5 µm で測定した. 2.2 局所方位差同定 得られた結晶方位データは筆者 らの開発した解析ソフトウェア MADAM(Misorientation Analyzer for DAmage Measurement)<sup>1)</sup>を用いて処理した. まず,方位測定の際に生じる誤差を低減させるため,平 均化処理を行う.各測定点の結晶方位を,その周囲の同 じ結晶粒に属する測定点(最大9点)の平均方位と置き 換えた(Fig.1参照).そして,平均化処理後の結晶方位 を用いて,各測定点の上下左右の4つの隣接する測定点



Fig.1 Schematic drawing of the smoothing filter for crystal orientations.

との結晶方位差の平均(局所方位差 *M*<sub>L</sub>)を算出した. 塑性ひずみ<sub>6</sub>が 3.0%のときの局所方位差を Fig.2 に示す. 分布は不均一で,とくに粒界近傍で局所方位差が大きく なっている. *M*<sub>L</sub>の対数平均(局所方位差平均 *M*<sub>ave</sub>)と 塑性ひずみの関係を Fig.3 に示す.直線的な相関関係が みられた.

### 3 結晶粒界近傍における局所方位差の分布

Fi.g.4 に模式的に示すように、測定点の結晶粒界からの距離 dは一番近い結晶粒界からの距離として定義した. そして、dがしきい値  $d_{th}$ の範囲にある測定点の  $M_L$ から  $M_{ave}$ を粒界毎に計算し、 $M_{ave(GB)}$ と定義する. $d_{th} = 6$   $\mu$ m とした場合の  $M_{ave}$ で正規化されており、また粒界を形 成する 2 つの結晶粒それぞれについて算出した.粒界毎、



Fig.2 Local misorientation distribution ( $\varepsilon_p = 3.0\%$ ).



Fig.3 Change in averaged local misorientation with plastic strain.

また同じ粒界でも結晶粒によって *M*<sub>ave(GB</sub>)は異なってお り、大きい箇所では *M*<sub>ave</sub>の5倍以上となった.これは塑 性ひずみで 20%を超える値に相当する.対応する箇所の 表面の SEM による観察結果を示す.変形によってすべ り線が出現しているが、すべり線の密度などと *M*<sub>ave(GB)</sub> の相関は必ずしも大きくなかった.すべり線が粒界近傍 で消滅している(転位が粒界で Pile-up している)場合 に局所方位差が大きいことが指摘されており<sup>2)</sup>、本観察 結果でもその傾向が見られる.

図5に示した粒界Aについて、 $d_{th} \ge M_{ave(GB)}$ の関係を Fig.6に示す.この粒界では $M_{ave(GB)}$ が $M_{ave}$ の2.6倍程度 となっているが、塑性ひずみに対する変化は単純ではな かった.また、結晶粒によって変化の傾向は異なってい た.Fig.7は全粒界に対して $d_{th} \ge M_{ave(GB)}$ の関係を示す.



Fig.4 A schematic drawing for definition of the distance from grain boundary for each point.



Fig.5 Local misorientation at grain boundaries and corresponding SEM image ( $\varepsilon_p = 3.0\%$ ,  $d_{th} = 6 \ \mu\text{m}$ ).

局所方位差は粒界おいて相対的に大きくなっているが、 その傾向の塑性ひずみによる変化は顕著ではなかった. 粒界への局所化は平均的な挙動よりむしろ、個別の粒界 に着目して評価すべきことが分かる.

#### 4 結 言

塑性ひずみによる結晶粒界への局所方位差の局在化 を定量的に調べた.結晶粒界近傍では、局所方位差が大 きくなる傾向があり、大きいところでは塑性ひずみで7 倍程度の局所方位差が発生していた.

#### 参考文献

- M. Kamaya, Material Characterization, 60, 125-132 (2009).
- 2) 釜谷,日本機械学会論文集 A 編, 74, 315-322(2008).



Fig.6 Change in averaged local misorientation at a grain boundary.



Fig.7 Relationship averaged local misorientation at grain boundaries and threshold distance  $d_{\text{th}}$ .