

## せん断加工によるミクロ組織変化が熱延鋼板の使用特性に及ぼす影響

横井, 龍雄

<https://hdl.handle.net/2324/1785412>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 横井 龍雄

論 文 名 : せん断加工によるマイクロ組織変化が熱延鋼板の使用特性に及ぼす影響

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

今後、燃費と安全性を両立させるよう自動車車両の更なる軽量化と高強度化を進めるためには、既に骨格構造部材を中心に 1GPa 以上の高強度冷延鋼板が採用されているボディー部品に対して、590MPa 級までの適用に留まっているシャシ部品への 780MPa 級以上の高強度熱延鋼板の採用を推進することが必要である。本研究は、その障害となっているせん断加工後の伸びフランジ加工性やバーリング加工性の改善、せん断加工部の疲労耐久性の克服を目的とした。

第 1 章では本論文の背景および目的を述べた。

第 2 章では、Dual Phase 鋼中で発達するひずみを定量的に解析することを目的に、Electron Back Scattering Diffraction 法と Digital Image Correlation 法を融合した新たなひずみ解析手法を検討した (図 1)。そして、これを用いて打抜き加工ならびに冷間圧延によって DP 鋼中に発達するひずみの特徴を解析することによって、冷間圧延した DP 鋼に形成される高ひずみ帯は、巨大ひずみ加工によって形成した伸長超微細粒組織もしくはその前駆的な強加工組織であることを明らかにした。また、局所ひずみマッピングにより測定される相当ひずみ量およびその組織の特徴から、打抜き加工した DP 鋼の打抜き端面のひずみは冷間圧延した DP 鋼中の高ひずみ帯のそれに相当することを示した。

第 3 章では、DP 鋼の打抜き穴広げ試験における延性破壊現象を理解するために、打抜き穴広げ試験を再現する打抜き引張試験片の破面観察と EBSD 等を用いた打抜きダメージの定量化を実施した。次に、電子顕微鏡観察を用いて打抜き穴縁近傍の破面およびマイクロ組織の変化とナノ硬さ測定を実施した。さらに、打抜き部からマイクロ引張試験片を切り出し、そのダメージ部の機械的性質を直接測定した。DP 鋼の打抜き穴広げ性が析出強化鋼等のそれと比較して低い原因は、軟質組織であるフェライト粒に打抜き加工時のダメージが集中し、均質組織のバルク材で超微細粒鋼が得

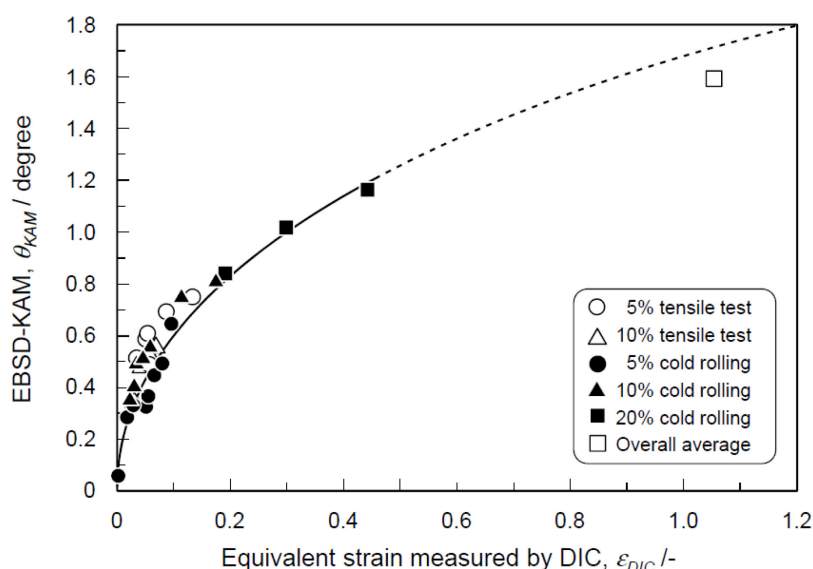


図 1 DIC により測定した相当塑性ひずみと EBSD で測定した結晶回転角の関係

られるよりも平均的には小さい相当塑性ひずみでそのフェライト粒に微細粒組織が形成された結果、大きく塑性変形能が低下してボイドの成長に費やされる段階が少なく、生成したボイドが合体して早期に破壊に至るためと推定した。

第4章では、熱延鋼板の打抜きやせん断加工部の有限寿命域での疲労のメカニズムを明らかにするために、DP鋼と比較材である析出強化鋼のパンチ穴材および理想穴材の軸荷重負荷での疲労き裂伝ば挙動をレプリカ法にて観察した。レプリカ法で測定したき裂長さより、応力拡大係数幅-疲労き裂伝ば速度曲線を描き、疲労き裂伝ば速度特性を得た。また、残留応力を含む打抜き加工の影響を応力拡大係数として評価することで、残留応力がその伝ば速度に与える影響が大きいことを示した。また、走査型電子顕微鏡SEMを用いた疲労破面の観察結果から、DP鋼では打抜き加工のような非常に厳しい加工を行った試験片でも、破面に粗さ誘起き裂閉口の痕跡である破面の凹凸および破面同士の擦れがあることを確認し、粗さ誘起き裂閉口によるき裂伝ば速度の遅延効果は期待できることを示した。

第5章では、熱延鋼板の打抜きやせん断加工部の疲労限を決めている微小なき裂の停留現象に及ぼすマイクロ組織の影響を明らかにするために、EBSDやナノ硬さ測定およびSEMを用いた破面観察を実施した。せん断加工をうけた析出強化鋼は、DP鋼と異なりS-N曲線での折れ点(=疲労限度)が消失するとともに、引張強度が上昇しても疲労限が向上しないことを示した。また、析出強化鋼のパンチ穴材の疲労破面には開口型き裂で見られるストライエーションとは異なる特徴的な破面形態が観察された(図2)。さらに打抜き加工部の近傍では結晶回転による強い集合組織の形成とサブグレイン化が認められた。これらの結果から打抜き加工によるマイクロ組織の変化に起因して、析出強化鋼のパンチ穴材では疲労初期段階でせん断型き裂が連続的に進展することを明らかにした。これらに基づき、せん断型き裂には開口型き裂における塑性誘起き裂閉口のようなき裂停留メカニズムが存在しないので、き裂が停留しないと推定した。すなわち、開口型き裂を前提としている従来の経験式が成立しない。一方、DP鋼は打抜き加工によってもサブグレイン化や結晶回転しないマルテンサイト粒がせん断型き裂の進展抵抗となり、早期に開口型き裂に移行する。開口型き裂においては塑性誘起き裂閉口が有効となるとともに、マルテンサイト粒による粗さ誘起き裂閉口の効果も加わることで、疲労き裂を停留させることができることを示した。

開口型き裂における塑性誘起き裂閉口のようなき裂停留メカニズムが存在しないので、き裂が停留しないと推定した。すなわち、開口型き裂を前提としている従来の経験式が成立しない。一方、DP鋼は打抜き加工によってもサブグレイン化や結晶回転しないマルテンサイト粒がせん断型き裂の進展抵抗となり、早期に開口型き裂に移行する。開口型き裂においては塑性誘起き裂閉口が有効となるとともに、マルテンサイト粒による粗さ誘起き裂閉口の効果も加わることで、疲労き裂を停留させることができることを示した。

第6章では、本論文の総括を行なった。

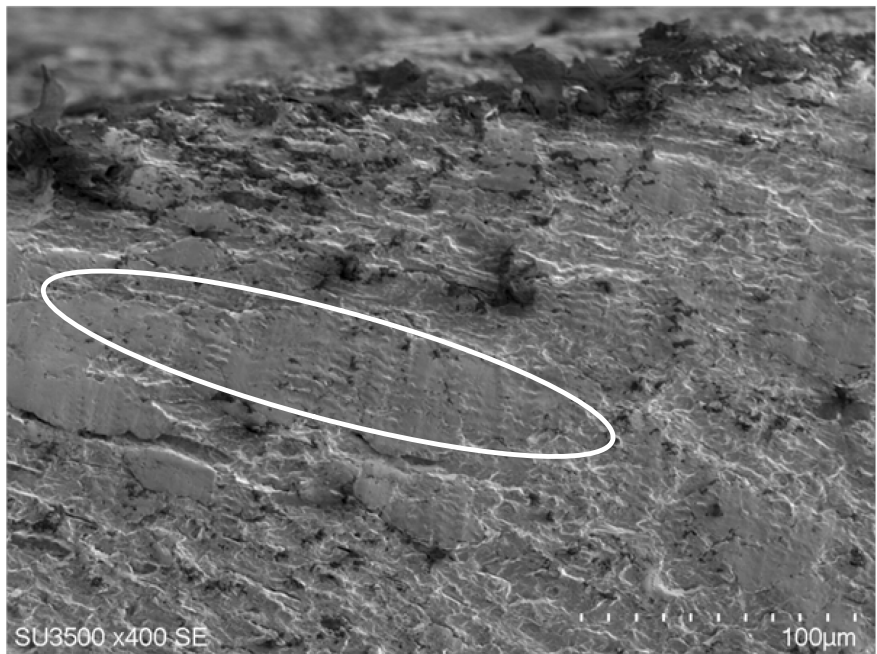


図2 パンチ加工を受けた析出鋼の引張圧縮疲労破面に存在する、せん断型疲労破面の特徴を有する領域