628

微粒子衝突処理を施した鉄鋼材料の 表面組織 京工繊大[院] 野田 翔 〇森田 辰郎 中部大 加賀谷 忠治

Surface Microstructure of Fine-Particle Bombarded Steel Sho NODA, Tatsuro MORITA and Chuji KAGAYA

1緒 言

微粒子衝突(fine-particle bombarding,以後 FPB)処理 は、圧縮空気を用いて 100 m/s を超える高速度まで加速 した多数の微粒子を被処理材に衝突させる表面改質法 である.この方法は、被処理材の表面粗さを顕著に悪化 させることなく、高硬さを有する表面層の形成や高い圧 縮残留応力の付与が室温・大気中で可能であるなどの優 れた特長を有する.また近年には、FPB処理にともない 被処理材の最表面がナノ結晶化することなど、興味深い 結果が報告されている¹⁾.

著者らは前報において, FPB 処理を施した純チタンに 関し,透過型電子顕微鏡(以後,TEM)による組織観察 および疲労試験等を行い,噴射圧および粒子径の相違が 表面性状や,それに強く依存する疲労特性に及ぼす影響 について詳細に検討した²⁾. さらに本研究では,FPB 処 理が鉄鋼材料の表面様相,表面組織,表面硬さ,硬さ分 布および残留応力値におよぼす影響に関し,母材硬さ, 噴射圧および粒子径をパラメータとして系統的に検討 した.特に,最表面の組織については,TEM 観察,電子 線回折および EBSD 分析により詳細に調べた.

2 供試材および実験方法

2.1供試材 S45C 圧延丸棒を φ 12 mm, 高さ 10 mm の ボタン型試験片に機械加工した.この試験片を 1118 K で 300 s 保持後に水冷することで焼入れを行った. さら に,473 K,673 K および 873 K で 3.6 ks 保持することに より焼戻しを行った.未処理材 (AN),焼入材 (Q) お よび上記 3 種類の調質材 (T2, T4, T6) について表面を エメリ研磨およびバフ研磨により鏡面状に仕上げた後, ①噴射圧 0.5 MPa,粒子径 50 µm (H グループ),②噴射 圧 0.75 MPa,粒子径 50 µm (P グループ),③噴射圧 0.5 MPa,粒子径 500 µm (D グループ)の3条件で FPB 処 理を施した.以後,各材を上記の熱処理条件と FPB 処理 条件を併記して,例えば「T2-H」のように表す.

2.2 実験方法 上述の全材料について, FPB 処理面の様 相を観察するとともに, 断面上で組織観察および EBSD 法(CI 値 0.1 以上)による結晶粒の変形状態の観察を行 った.また,最表面から採取した小試験片について, TEM 観察および電子線回折を行った.また,マイクロビッカ ース硬さ計を用いて,表面硬さおよび硬さ分布を測定す るとともに,処理面上でX線残留応力測定を行った.

紙面の都合上,以下では2.1節に示した条件①で FPB 処理(Hグループ)を施した材料に関する結果を中心に説明する.

3 実験結果および考察

3.1 表面層の性状 Fig. 1 に,代表例として T6-H 材 および T2-H 材の処理面の様相,断面上で行った組織観



Fig. 1 Surface features, microstructures observed on the cross-section, results of EBSD analysis, TEM photographs and electron diffraction patterns of FPBed materials.

察結果および EBSD 分析結果, TEM 観察結果および電子線回折結果をまとめて示す.

同図から理解されるように,被処理材の初期硬さが低い T6-H 材の方が表面の凹凸は深く(左から1列目),これと対応して塑性変形が生じた領域は大きかった(左から2列目).これについては EBSD 分析の結果からも理解でき,T6-H 材では結晶粒が大きく扁平している様子が認められた.しかしながら,T6-H 材の表面層が断続的であるのに対して,T2-H 材の表面層は一様であった.このことは,T6-H 材の場合,FPB 処理時に表面に塑性変形が生じると同時に,ブラスト効果により表面層の一部が除去されたことが一原因として考えられる.

一方, EBSD 分析結果に注目すると, T6-H 材および T2-H 材の最表面の組織は極度に微細化していることが わかる.実際, TEM 観察を行ったところ, 両材の最表面 はナノ結晶化していた(右から2列目).ナノ結晶の粒 径は T2-H 材の方が小さく,これと対応して電子線回折 図形はリング状になっていた(右から1列目).上記の 結果は,被処理材の初期硬さが高いほど塑性変形が最表 面に集中するため, FPB 処理時の温度上昇にともない再 結晶した組織が,より微細化されたことを示している. 3.2 硬さ変化および残留応力 Fig.2に,被処理材の 初期硬さと FPB 処理にともなう硬さの上昇幅との関係 を示す.また, Fig.3には,最表面のナノ結晶の粒径と 表面化硬さとの関係を示す.さらに Fig.4には,初期硬 さと残留応力の関係を示す.

Fig. 2 から明らかなように, AN 材を除いて, 被処理材 の初期硬さの上昇にともない, FPB 処理にともなう硬さ の上昇幅は大きくなっている.一見すると, この結果に は矛盾があるように思える. なぜなら, 被処理材の初期 硬さが低いほど, 3.1 節で説明したように表面の塑性変 形の程度が顕著となることから, 加工硬化により硬さは より顕著に上昇すると予想されるからである.

この現象については、最表面のナノ結晶の粒径に基づ いて説明できる. Fig. 3 から理解されるように、最表面 のナノ結晶の粒径と表面硬さとの間に明瞭な Hall-Petch 型の直線関係が認められた.このことは、上記の硬さの 上昇がナノ結晶化の程度に強く依存して生じたことを 示している.また、先に説明したように被処理材の初期 硬さが高いほど表面層が一様であったのは、予め存在し ていた多数の転位を核として、容易に再結晶が生じたた めと考えられる.

一方, Fig. 4 から理解されるように,表面の圧縮残留 応力値は,被処理材の初期硬さの上昇にともない大きく なった.このことは,被処理材の初期硬さが高いほど FPB 処理時の塑性変形がより表面に集中し,その変形が 再結晶により固定化されたことに加えて,最表面の硬さ が上昇したために上記の高い圧縮残留応力が解放され ずに維持されたためと考えられる(結言省略).

参考文献

1) 高木眞一・他4名,鉄と鋼, 92-5, 24-32 (2006).

 野田 翔・他 3 名,日本機械学会材料力学コンフ アレンス M&M2009,09-3,280-281 (2009).



Fig. 2 Relationship between initial hardness and range of hardness increase.



Fig. 3 Relationship between grain size of outermost microstructure and surface hardness.



