

ARB法により超強加工されたIF鋼の微細組織

Microstructures of Ultra Low-Carbon IF Steel Highly Deformed by ARB Process

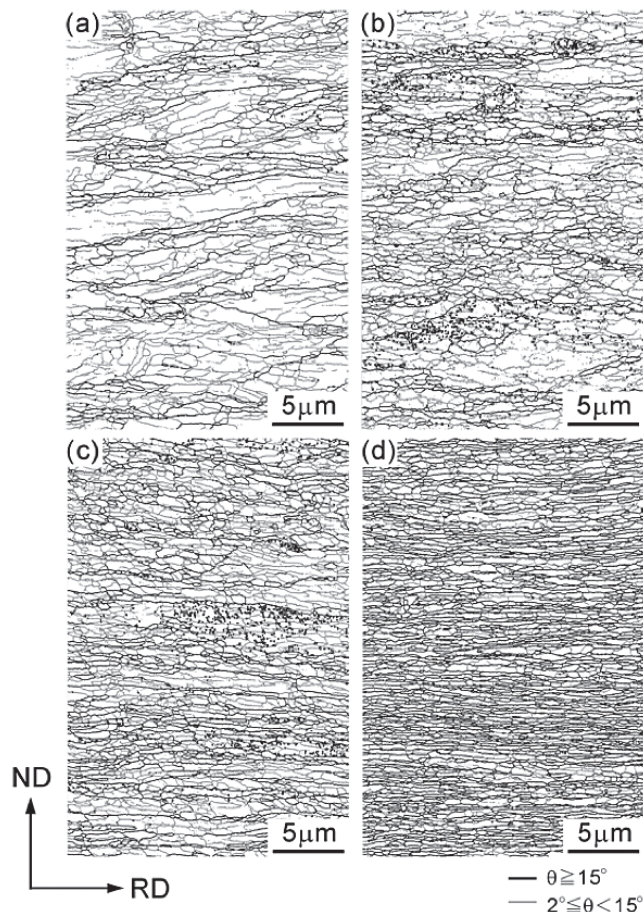
辻 伸泰*¹、上路 林太郎*²、紙川 尚也*³、寺田 大将*¹

Fig.1 Boundary misorientation maps obtained from EBSD measurements of the IF steel ARB processed by (a) 1 cycle, (b) 3 cycles, (c) 5 cycles, and (d) 7 cycles at 500°C. Observed from TD

対数相当ひずみ4～5以上の極めて大きな塑性ひずみを金属材料に施すと、粒径1μm以下の超微細粒組織や、場合によってはナノ結晶組織が形成されることが、最近よく知られている¹⁾。しかし、こうした超強加工あるいは巨大ひずみ加工 (severe plastic deformation: SPD) により形成されるナノ組織は、加工ままの状態を観察されることが多く、加工後の焼鈍熱処理を経て得られる従来の再結晶粒組織とは、本質的に大きく異なるはずである。しかしながら、SPD 研究分野では「超微細粒」という言葉がややもすれば一人歩きし、得られるナノ組織の特徴が明確に認識されておらず、混乱を招く場合も多い。超微細粒金属は、優れた機械的性質や特異な力学特性を示す¹⁻⁴⁾が、その原因を理解するためにも、超強加工材の微細組織を正確に把握することは不可欠である。本稿は、ARB (accumulative roll bonding) 法^{1,5)}により超強加工されたフェライト鋼の微細組織の特徴を正確に示すことを目的としている。

Ti添加極低炭素IF (interstitial free) 鋼に対して、ARB法により相当圧下ひずみ5.6までの超強加工を行なった。厚さ1mmのIF鋼板を2枚重ね、500℃で10min保持した後、直ちに圧下率50% (相当圧下ひず

み0.8)の接合圧延を1パスで行ない、すぐに板を水冷した。これを1サイクルのARBとして、7サイクルまで繰り返した。ARBプロセスの更なる詳細は、既報⁶⁾に示した通りである。

Fig.1は、種々のサイクル (ひずみ) のARBを施されたIF鋼の、EBSD (electron back-scattering diffraction) 法による方位マッピングにより得られたバウンダリーマップである^{7,8)}。測定は、TD (transverse direction) に垂直な縦断面上で行なった。図中では、方位差15°以上の大角粒界を黒線で、方位差2°以上15°未満の小角粒界を灰色の線で示している。1サイクルARB材 (50%圧延材) は、圧延方向に初期結晶粒が伸長した組織を示している。各初期結晶粒内には、小角粒界により構成される下部組織が観察される。これは、典型的な通常の加工組織である。3サイクルARB材 (全圧下率87.5%) においては、初期結晶粒がさらに薄く長く伸長しているが、同時に特に初期粒界近傍に、大角粒界に囲まれたサブミクロンサイズの微小領域が形成されていることが分かる。これまでの研究により、超強加工時には塑性変形に伴って新たなバウンダリーが多数導入され、それが結晶を分断して、超微細粒

*1 大阪大学大学院工学研究科
*2 香川大学大学院工学研究科
*3 東北大学金属材料研究所

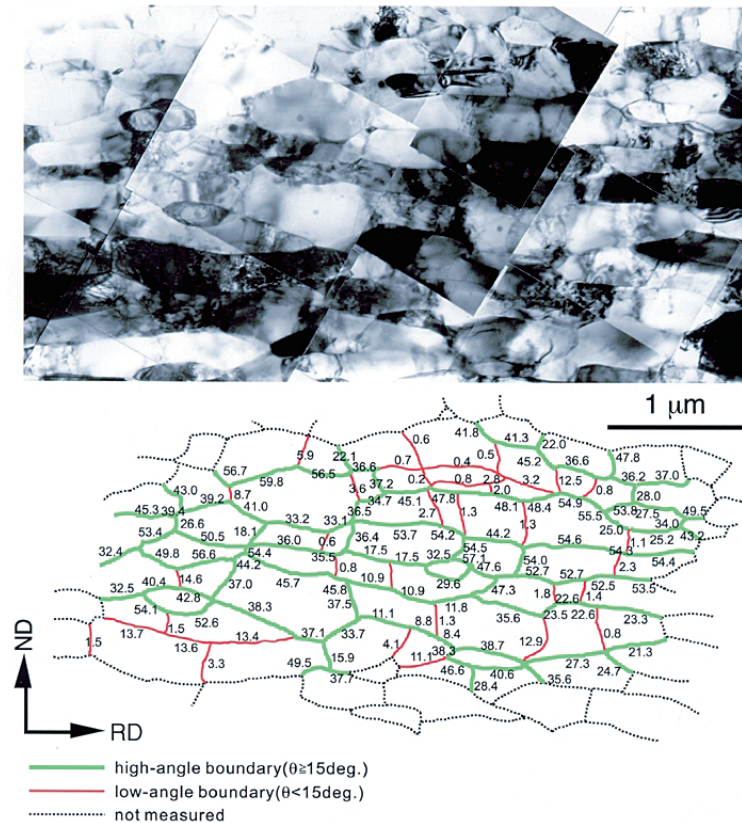


Fig.2 TEM microstructure and corresponding boundary misorientation map of the IF steel ARB processed by 7 cycles ($\epsilon=5.6$) at 500°C. Observed from TD

組織が形成されることが明らかとなっている^{9,10}。この過程は、Grain Subdivision¹¹と称される。ひずみ量が増すにつれて、初期粒の伸長と Grain Subdivision が進行し、7 サイクル ARB 後には、全面がほぼ均一に大角粒界により分断されて、伸長超微細粒組織あるいは超微細ラメラ組織が形成されていることが分かる。

7 サイクル ARB 材の TEM 組織を Fig.2 に示す⁹。圧延方向に伸長した、平均厚さ 0.2 μm の超微細粒組織が観察され、これは Fig.1 (d) に示した EBSD 測定結果とよく一致している。TEM 観察と同時に各領域の Kikuchi 線解析を行ない、その結果を元に隣接領域間の方位差を求めて、Fig.2 下部にバウンダリーマップとして示した。ここでは、方位差 15° 以上の大角粒界を太い緑線で、方位差 15° 未満の小角粒界を細い赤線で示している。バウンダリーマップには方位差の値 (deg.) も併記している。EBSD 法は非常に小さな方位差に対する解析精度が悪いため、Fig.1 では 2° 以下の方位差の測定結果を切り捨てているが、TEM 観察によれば方位差の小さなサブバウンダリーも、また転位も観察することができる¹⁰。各伸長領域の大部分が、非常に大きな方位差の粒界により囲まれていることが分かる。すなわち、互いに大きな方位差を有するという点において、これらは確かに「結晶粒」である。しかし一方で、超微細粒は圧延方向に伸長しており、粒内には多数の転位やサブバウンダリー (小角粒界) が観察されるなど、加工組織としての特徴も同時に有している。

以上に明確に示したように、超強加工により得られる「超微細粒組織」とは、大きな方位差の粒界に囲まれているという点において確かに結晶粒であるものの、本質的には加工組織であって、再結晶により得られる従来の結晶粒組織とは大きく異なっている⁸。本稿では IF 鋼の結果のみ示したが、その他の金属・合金においても、得られる超微細粒組織の特徴はほぼ同様である。ただし、材料の純度が高い場合や、超強加工プロセスが比較的高い温度で行なわれる場合には、プロセス中に回復や粒界移動が起こって、粒内転位密度の低い等軸結晶粒が観察されること

もあり得る。いずれにせよ、力学特性やその他の特性を考える場合には、超強加工により得られる超微細粒・ナノ組織が加工組織としての特徴をも有していることを無視してはいけないうであろう。

参考文献

- 1) "Severe Plastic Deformation toward Bulk Production of Nanostructured Materials", edited by B.S. Altan, NOVA Science Publishers, New York, (2005)
- 2) N. Tsuji : J. of Nanoscience and Nanotechnology, 7 (2007), 3765.
- 3) X. Huang, N. Hansen and N. Tsuji : Science, 312 (2006), 249.
- 4) X. Huang, N. Kamikawa, N. Tsuji and N. Hansen : ISIJ Int., 48 (2008), 1080.
- 5) N. Tsuji, Y. Saito, S.H. Lee and Y. Minamino : Adv. Eng. Mater., 5 (2003), 338.
- 6) N. Kamikawa, T. Sakai and N. Tsuji : Acta Mater., 55 (2007), 5873.
- 7) N. Tsuji, N. Kamikawa and Y. Minamino : Mater. Sci. Forum, 467-470 (2004), 341.
- 8) 辻伸泰 : 鉄と鋼, 94, (2008) 12, 582.
- 9) N. Tsuji, R. Ueki, Y. Ito and Y. Saito : Proc. Of the 21st Risø Int. Symp. On Mater. Sci., Risø National Laboratory, Denmark (2000), 607.
- 10) X. Huang, N. Tsuji, N. Hansen and Y. Minamino : Mater. Sci. Eng. A, 340 (2003), 265.
- 11) N. Hansen and D. Juul Jensen : Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 357 (1999), 1447.

(2008 年 11 月 10 日受付)