ノート

超音波を利用した連続屈曲加工による Si 系次世代 LIB 集電箔用ステンレス鋼の疲労強度向上処理法の開発

中川　昌幸*　森田　渉*　林　成実**

Improvement of Fatigue Strength of Work Hardened Austenitic Steinless Foil Achived with Repeated Fully Reversed Bending and Ultrasonic Reducing Friction.

NAKAGAWA Masayuki*, MORITA Wataru* and HAYASHI Narumi**

1. 緒　言

リチウムイオン電池（以下 LIB）において，活物質と金属箔（集電体）を組み合わせた負極が用いられる。次世代型 LIB 負極材料として期待される Si 系材料は従来の黒鉛系電極材よりも高容量化が可能だが，リチウムイオンを吸蔵する充電時には体積膨張が大きく，集電体材料には機械的強度が要求される。このような機械的性質の他，耐食性，コストなど要求を満たす集電体材料としてオーステナイトステンレス SUS304 箔が検討されている。

SUS304 の圧延箔は，0.1mm 程度以下の厚みに薄肉化すると加工硬化が顕著となり，引張強さ 1000MPa 以上，HV450 程度まで機械的性質が向上する。一方，伸びが数%と延性が著しく低下するため，疲労起点が生じやすいと考えられる。ひずみ緩和のためには，焼きなましを用いる方法が一般的だが，伸びは大きく改善する反面，加工硬化による強度や硬さが損なわれるうえ，製造コスト高となる。

過去の研究 [1), 2)]で t0.1mm の SUS304 圧延板の表面に超音波キャビテーションピーニング処理を行うと微小エリアのひずみ緩和により表面の硬さがわずかに低下し，結果として疲労特性が改善した。しかし，表面ピーニングでは表面のダメージも同時に起こり，薄い箔には適さない。本研究では，加工によるひずみ緩和法として，矯正加工のひとつであるレベラー加工のように，細かい櫛形形状の噛み合わせの間に SUS 箔を通し，繰り返し連続屈曲させる方法を試みた。

*　下越技術支援センター
**　中越技術支援センター

2. 供試材および実験方法

供試材は SUS304 の板厚 0.1mm 圧延板を用いた。図 1 に実験装置の概略を示す。シート状のサンプルをロールで送り，櫛形の噛み合わせの間を通る際に材料は連続的に繰り返し曲げ加工を受ける。噛み合わせとワーク間の摩擦低減のために，一方の櫛形を 19.5kHz の超音波により共振させた。

この加工による機械的性質の変化について引張試験を行った。また，引張疲労試験により，疲労特性改善について評価した。さらに疲労試験の破断部亀裂付近の電子後方散乱回折法による解析を行い，微視組織の変化を調べた。

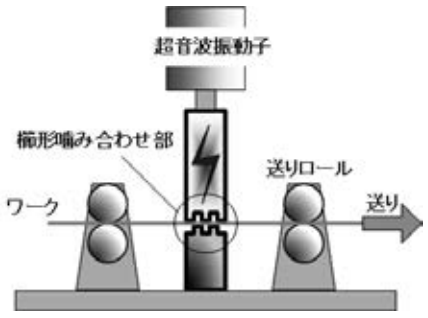


図 1　実験装置の概略

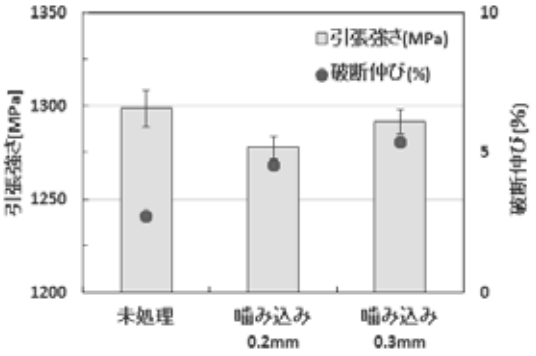


図 2　引張試験結果

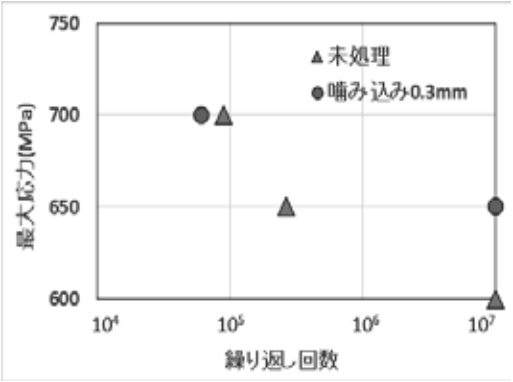
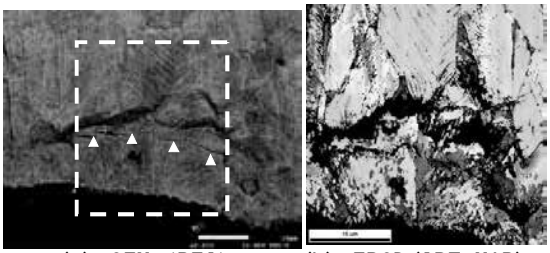


図 3　引張疲労試験結果

3.　結果と考察

図 2 に連続屈曲加工前後の引張試験の結果を示す。加工により引張強さは 1%程度低下したが，伸びは 1.5～2 倍に向上し，延性回復の傾向が確認された。図 3 に引張疲労試験の結果を示す。加えた応力波形は 37.5MPa～最大応力の正弦波とし，未破断の場合は 10^7 回で終了した。最大応力 650MPa のとき，未処理では 3×10^5 回で破断したが連続屈曲加工により 10^7 回まで破断しなかった。加工を行ったサンプルにおいて最大応力 700MPa の条件で 6×10^4 回で破断した破断面近傍の亀裂周辺を SEM 観察し，EBSD 解析を行った。その結果を図 4 (a)SEM（BEI），(b)EBSD(IPF MAP)にそれぞれ示す。破断部付近には結晶粒サイズより微細な粒子が多数みられ，サブストラクチャー形成が確認できる。疲労試験時に亀裂周辺に生じたこのような構造によりひずみ緩和が行われたのではないかと考えられる。



(a) SEM（BEI）　(b) EBSD(IPF MAP)

図 4　亀裂周辺の SEM 観察，EBSD 解析

4.　結　　言

（1）厚さ 0.1mm の SUS304 圧延板に連続屈曲加工を行うことにより，引張試験における伸びの向上，硬さの低下が確認され，圧延により導入された局所ひずみが緩和されたと考えられる。

（2）引張疲労試験において，未処理では 3×10^5 回で破断した最大応力 650MPa の条件で，連続屈曲加工を行うことにより，10^7 回まで破断せず，疲労特性改善の効果が認められた。

（3）連続屈曲加工後の疲労試験で破断した破断面近傍の亀裂付近を EBSD 解析したところ，サブストラクチャー形成が確認された。これが亀裂周辺のひずみ緩和に寄与しているのではないかと考えられる。

なお，本研究は，H28 年度科学技術振興機構 JST マッチングプランナープログラム（企業ニーズ解決試験)事業の一環として行われたものである。

参考文献

1) 小平，中川ほか，“オーステナイト系ステンレス鋼 薄板に対する超音波キャビテーションピーニング”，日本金属学会講演大会概要， 2011.

2) 中川，林，“超音波キャビテーション処理により形成される表面加工層の評価法に関する研究”工業技術研究報告書，No.42，2013，pp.79-82.