

特殊材の冷間圧延技術と新製品開発

Precision cold-rolling technology and its application to development of new products

株式会社特殊金属エクセル 田中慎一、松村雄太、蛭田修平、佐々木大輔、五十嵐圭司、細谷佳弘

1. はじめに

当社は 1940 年の創業以来、高品質の高炭素みがき帯鋼の製造をコア技術とし、今日まで多様かつ高度化する市場ニーズに応えるため、ステンレス薄板、非鉄金属薄板、クラッド材等の製造技術を確立してきた。それと共に圧延機は 4Hi から Z-Hi へと進化し、多種の金属材料に適応できる冷間圧延技術を構築した。加えて 20 段箔用圧延機の導入による極薄箔の製造、ゲージメーターAGC による板厚精度向上、過共析鋼のような低靱性材に対しては複数回の熱処理で組織調整を行って板破断を防止することで高精度・高圧下率圧延を可能にするなど、多くの圧延技術と圧延ノウハウを蓄積してきた。本稿では難加工性の特殊材の冷間圧延技術と、冷間圧延による組織制御により開発された新製品について紹介する。

2. 特殊金属エクセルの冷間圧延技術

当社は冷間圧延機を自社設計・製造しており、その中で主要な Z-Hi 圧延機の特徴を以下に列記する。

- ①IMR シフト機能により最大圧延幅 340mm の範囲で容易に形状調整が可能である。
- ②WR 交換が容易であり、製品に応じて WR の表面状態や材質を変更して圧延することが可能である。
- ③高圧下が可能であり硬質薄板材の製造が可能である。

Z-Hi 圧延機は、多鋼種・多寸法の原材料および製品を取り扱う上で利便性が高く、高い生産性を維持しながら、様々な金属材料の生産が可能である。

またゲージメーターAGC 等を活用した高精度板厚制御により、精密部品に求められる高い板厚精度を実現している。Fig. 1 に対象板厚に対して保証している板厚公差を他の規格と比較して示す。

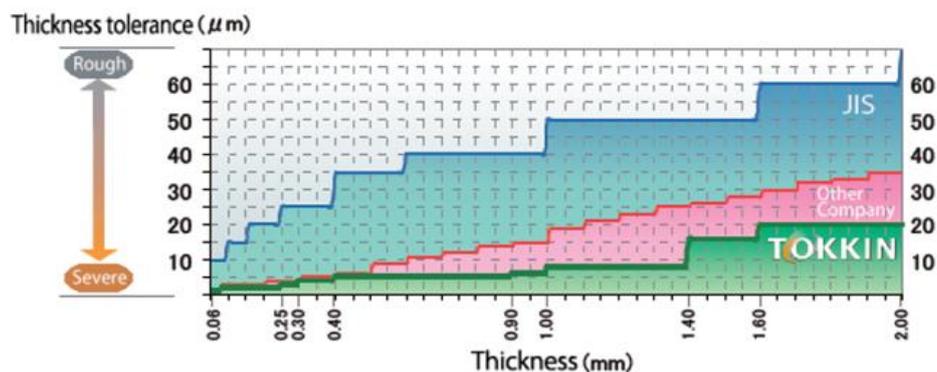


Fig1. Thickness Chart of our products in comparison with JIS and other competitors.

3. 繊維機械部品用高炭素鋼の組織制御

繊維機械部品(メリヤス針)や医療用メスの素材となる高炭素鋼材は、顧客での二次加工性や安定した熱処理性に応えるため、冷間圧延と球状化焼鈍によってセメンタイトを微細かつ均一に分散させる必要がある。Fig. 2に原材料(熱延鋼板)と最終の冷延製品の金属組織と板厚公差の例を示す¹⁾。

高炭素鋼を冷間圧延する際には、圧延率が大きくなるにつれて板破断が頻発する為、圧延張力の適正化だけでなく組織状態に応じてリダクションを変更するような工程を採用している。Fig. 2に示すように原材料中のセメンタイトの形状はサイズ・分布共に不均一であるため、冷間圧延の比較的早いパスで脆性割れが発生する。これに適切な球状化焼鈍を繰り返すことで靱性が向上し、板破断のリスクが低下して高圧下率での冷間圧延が可能になる。そのため、細かなセメンタイト粒径を維持できる熱処理条件と板破断を発生させず安定して量産できる冷間圧延からなる工程設計が必要となる。

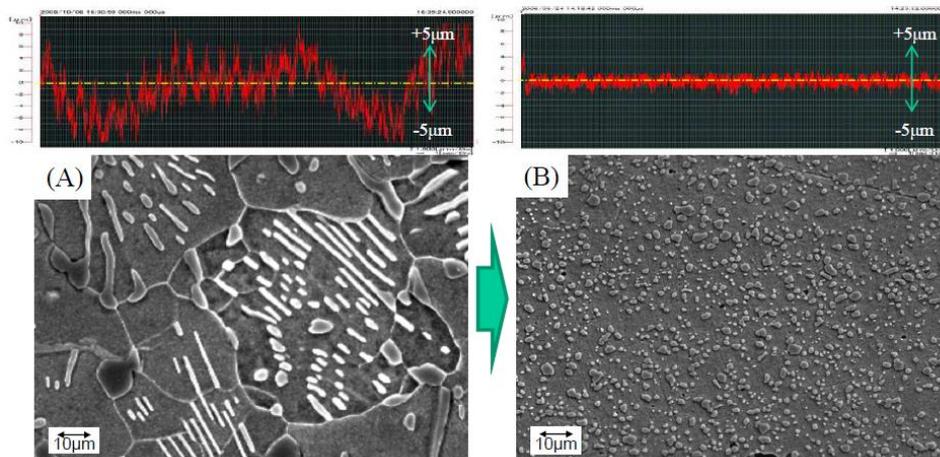


Fig2. Change in both thickness profile and microstructure with controlling cold-rolling and annealing (A) : As-received hot-band (B) : Final product with fine spheroid carbides¹⁾

4. 超微細粒ステンレス鋼板の組織制御

金属組織を粒径 $1\mu\text{m}$ レベルまで微細化することによって、①強度と延性を兼ね備えた材料特性が得られる、②曲げ加工等の二次加工時に材料表面の肌荒れが起こらない、③せん断面が平滑化すると共に破断部のバリ発生が抑えられる等の効果が得られる微細粒鋼板の工程開発に成功した。

Fig. 3 に微細粒化した SUS304 の金属組織の例を示す。

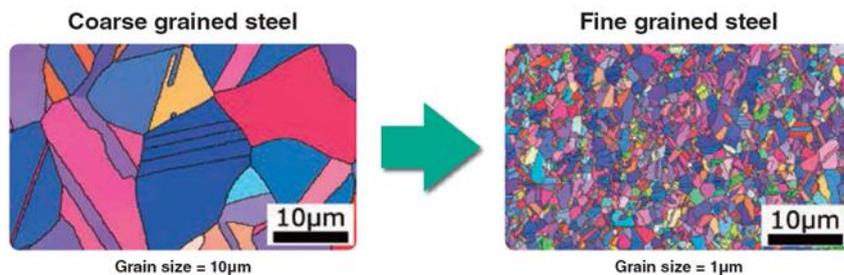


Fig.3 Comparison between microstructure of conventional coarse grained steel and newly developed fine grained steel (SEM-EBSD image)

準安定オーステナイト系 SUS の代表と言える SUS304 は、原材料から製品に圧延するまでの過程で繰り返し逆変態させながら冷間圧延を繰り返すことで非常に微細な組織を得ることができる。組織が微細であるため冷間圧延工程では常に高い圧延負荷がかかるが、Z-Hi 圧延機の活用によってそれをクリアし、量産化を可能にした。

微細粒組織を有するステンレス薄板は、液体噴射用オリフィスプレート²⁾、各種精密時計部品などに加えて、最近では医療用メタルマイクロポンプ³⁾、医療用メス、注射無痛針などへの応用が期待されている。Fig. 4 に通常の無痛針の表面状態と微細粒材を同じ工程で加工した際の表面状態を比較して示す。

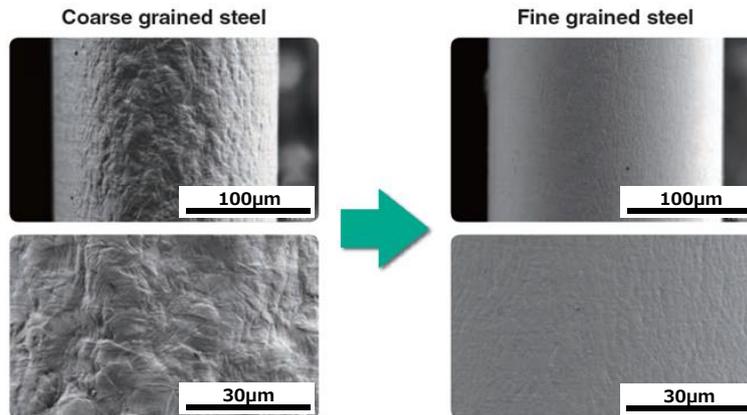


Fig.4 Effect of grain refinement of materials on the surface appearance of syringe needle.

5. クラッド製品群の紹介

異種金属を冷間圧延で結合して拡散処理することで、複数の機能を具備したクラッド材が製造される。クラッド材の圧着工程では極めて高い圧延率をかける為、設計寸法とその加工率が非常に必要な条件となる。異種材を接合する場合、変形抵抗や伸び特性が著しく異なる組み合わせでは、適正な寸法設計と適正な圧下率でなければ接合することはできない。Fig. 5 に示すように、クラッド製品群にはシンプルな2層クラッドだけでなく、3層やインレイなど要求品質により圧延加工条件の適正化が重要である。

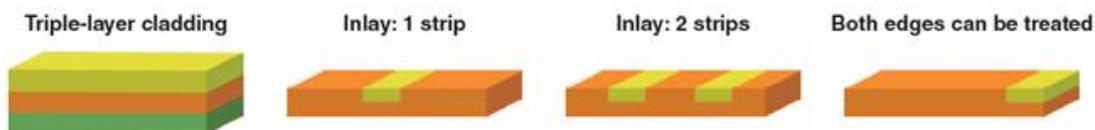


Fig.5 Typical types of clad materials

6. 超高強度・高延性材の組織制御

スマートフォンの振動モーターに搭載されるバネ材は成形性と高い耐久疲労特性が求められる。例えば焼入れによる変態強化では YS, EL のバランスが保てず要求品質を満たす材料開発には至らなかった。

この問題をブレイクスルーしたのが、高窒素準安定系 γ -SUS を冷間圧延によって適正な体積率まで加工誘起マルテンサイト (α') 相を生成させた後にペル炉で 400°C に再加熱保持することで、 α' 中の過飽和固溶炭素を γ 相中に濃化させる技術である⁴⁾。従来、連続熱処理炉で γ 域から Ms 点直下まで鋼板

を急冷してマルテンサイト変態させた後に 400°C近傍まで再加熱して短時間で炭素分配を行う Quench and Partitioning(Q&P)処理⁵⁾が知られていたが、冷間圧延で α' 相の体積率を制御するためコイル全長・全幅での組織のバラツキが極めて小さくなり、400°Cで均熱することによってYS:1,600MPa、EL:24%の優れた強度・延性バランスを有する鋼板の開発に成功した。該製造プロセスについては、Rolling and Partitioning(R&P)と名付けた。

冷間圧延率を制御する事で α' 相の体積率を狭レンジで管理できるため、開発材は極めて優れた量産安定性を有している。Fig.6に量産化後の製品のYS-ELバランスを示す。

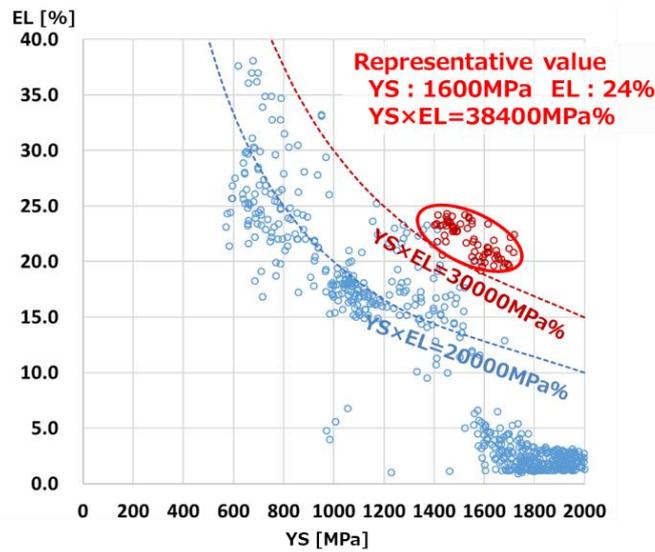


Fig.6 Comparison in YS-EL balance of mass-produced products between newly developed material and conventional materials⁴⁾

7. おわりに

創業以来 77 年間、独自の圧延機設計に加えて、時代の要求に応えながら多種多様の製品群を取り扱う為 Z-Hi 圧延機へと進化させた。また圧延機設計だけでなく製造技術に関するノウハウ(特性・組織・外観調整など)を組み合わせることで独自性の高い製品を開発・製造してきた。今や、冷間圧延は素材を所定の板厚まで展伸する技術に留まらず、組織制御の有力プロセスと位置付けられるようになった。

それは量産安定性と言う絶対条件をクリアすることが必須であり、今後も積極的な特殊材の開発と地道な冷間圧延技術の可能性にチャレンジしていきます。

8. 引用文献

- 1) 細谷佳弘：ふえらむ，Vol.20 (2015)，No.1，p.13.
- 2) 永山真一：174th CAMP-ISIJ，No.357.
- 3) 平成 27 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「SUS304 超塑性効果を利用したナノ精度マイクロ部品の加工技術開発」成果報告書，平成 28 年 3 月，44-49
- 4) 松村雄太，他：まてりあ，vol.57，No.1(2018)，20-22.
- 5) J. G. Speer：Materials Research，8 (2005)，417-423.