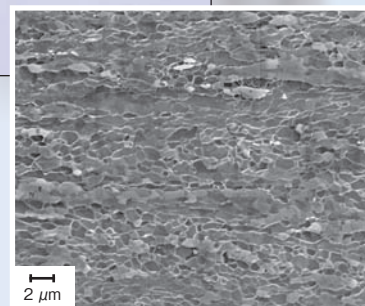


スマートフォンに貢献する 微細粒鋼

小さなボディに高機能を詰め込んだスマートフォンには、1,000以上の部品が使われていると言われ、なかには結晶粒微細化技術が生かされた部品もある。身近な最先端技術であるスマートフォンに貢献する鉄鋼材料について紹介する。



結晶粒微細化技術から生まれた
高強度マイクロねじと超微細結晶粒
(粒径約0.5 μm)。



高度な技術が集積されたスマートフォン

平日の通勤電車の中では、乗客の少なくとも8割以上はスマートフォンを利用しているのではないだろうか。それほど、最近のスマートフォンの普及のスピードは著しい。

スマートフォンが誕生したのは1990年代後半であり、海外では2000年代前半にかけて普及していった。同じ頃、日本では多機能携帯電話が普及していたため、スマートフォンの注目度はそれほど高くはなかった。日本では2008年にiPhone 3GSが発表された頃から、スマートフォンが広く普及し、その後さまざまな機種が発表されて、スマートフォンの国内市場が形成されていった。その後の普及のスピードについては言うまでもないが、例えば日本の情報通信機器の世帯保有状況(総務省「平成25年通信利用動向調査」より)を見ると、平成25年末には固定電話が79.2 %であるのに対し、携帯電話・PHS・スマートフォンの合計は94.8 % (スマートフォン62.6 %を含む)と発表されている。世界全体で見ても、年間に出荷される携帯電話約18億台のうち、スマートフォンはその約6割を占めていると言われる。

スマートフォンの魅力は、小さなボディの中に携帯電話とパソコンの高い機能を併せ持ち、メールやウェブサイトの閲覧、動画、音楽、

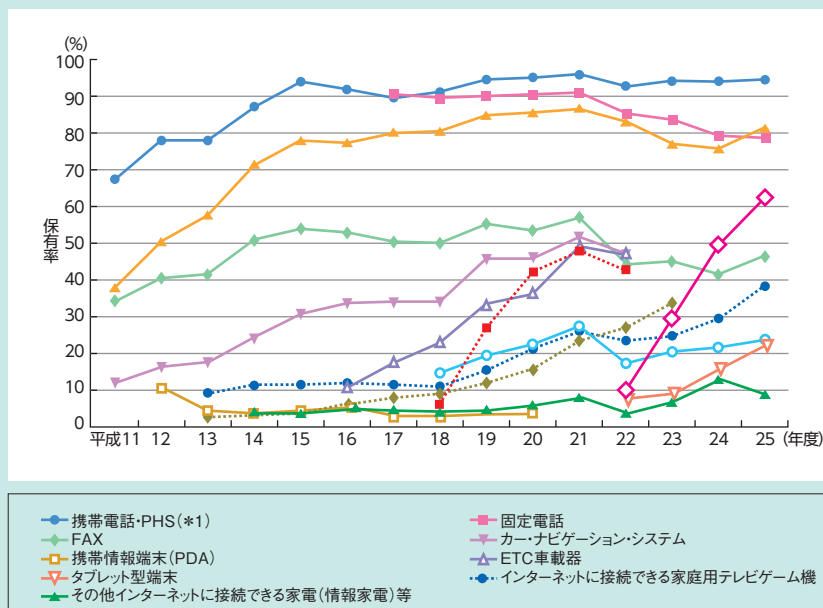
SNS(ソーシャルネットワークサービス)、ゲーム、位置検索などの数多くのアプリケーションを、クラウドコンピューティングを通じていつでもどこでも楽しめるという点にあるだろう。スマートフォンに対するエンドユーザーの要求は、情報端末としての高性能と利便性、通信性能や、モバイル端末として小型で薄く軽量であり、同時に堅牢であること、などが挙げられる。多様化、高度化するニーズに対応するため、部品への要求特性はますます高まり、部品メーカーや材料メーカーは高い技術を駆使して製品を開発している。

1台のスマートフォンに使われる部品の数は1,000点以上あり、日本メーカーがその半数を供給していると言われている。使用されている材料はいろいろあるが、その中には鉄鋼材料も含まれている。今回は特に「結晶粒微細化」の技術を適用して、スマートフォンの高性能化に貢献する鉄鋼製品の例を紹介する。

スマートフォンで実用化された高強度マイクロねじ

1台のスマートフォンには、種類によっても異なるが、平均10本程度のねじが使われているという。ねじはあらゆる機械や製品に使われる基本的な部品であり、かつ高い強度が求められる精密部品でもある。

■情報通信端末の世帯保有率の推移



日本国内の世帯全体における各情報通信機器の保有割合を示したもの。携帯電話・PHSは安定した保有率を保っているが、スマートフォンやタブレット型端末は着実に伸びている。特にスマートフォンは、4年間に60ポイント以上の飛躍的な伸びがみられる。

*1「携帯電話・PHS」には、平成21年末から平成24年末までは携帯情報端末(PDA)も含めて調査し、平成22年末以降はスマートフォンを内数として含む。なお、スマートフォンを除いた場合の保有率は76.5%である。

*2「スマートフォン」は「携帯電話・PHS」の再掲である。

(総務省「平成25年通信利用動向調査」より)

以前から、鉄鋼材料では結晶粒を微細化することにより、強度を高める方法が注目されてきた。この方法ならばレアメタルなどの強化元素を使用する必要もないため、多くの研究がなされてきたが、なかなか実用化には至らなかった。この結晶粒微細化の技術に着目して開発されたのが、0.5 μm 以下の超微細粒組織を持つ高強度マイクロねじである(開発当時は物質・材料研究機構、現在は兵庫県立大学大学院の鳥塚史郎教授*による)。

一般的なねじの製造工程は、おおむね以下のとおりである。まず、鉄鋼メーカーで作られた線材は、二次圧延メーカーで球状化焼鈍により軟らかくされ、伸線が行われる。伸線して線が細くなると硬くなるので、この後で焼鈍して軟らかくされる。これを2回程度繰り返す。こうしてできた鋼線は、今度はねじメーカーに送られ、冷間圧造によりねじ頭部が成形され、転造によりねじ山の形状が作られる。この後、熱処理メーカーで焼入・焼戻しにより強度を高める。最後にめっきメーカーで亜鉛めっきが施されるが、この時に組織中に入る水素を取り除くために、ベーキングを行う。この工程で4回程度の熱処理を行うことになる。

このように、従来のねじでは、軟らかい材料(冷間圧造用鋼SWCH16Aなど)を用いてねじ成形(冷間圧造)を行い、その後で熱処理(焼入・焼戻し)を行うというように、ねじ成形と熱処理を組み合わせる工程であった。しかしこの方法では、熱処理の回数が多く、製造工程中でCO₂排出量が多くなるという問題点があった。しかし、熱処理の回数を減らそうとして始めから高強度な鉄鋼材料

を使うと、ねじ成形時に、ねじ頭部に割れ(リセス割れ)が発生し、不良品となってしまふ。このように鉄鋼材料の高強度化と成形性との間にはトレードオフの関係がある。この2つを両立することが、この研究の大きな課題だった。

微細粒鋼として初の量産化製品

高強度マイクロねじの研究では、材料に強度の高い微細粒鋼を使用した。材料が高強度であれば、焼入・焼戻しのような熱処理は省略することが可能となる。

このとき問題となるのは成形性がよくないという点であったが、これに対しては、材料に極低碳素鋼を使用し、結晶粒を0.5 μm 以下のレベルまで超微細化することにより、この問題を解決することができた。その結果、引張強さ1.1 GPaの高強度が得られ、同時に、ねじ成形しても割れない優れた成形性を実現することができた。

さらに、微細粒鋼線材の量産化技術として、連続温間多方向圧延技術による線材コイル製造技術が開発され、直径1.3 mmの鋼線の製造が可能となった。これらの技術を生かして製造されたM1.6マイクロねじ(ねじ径1.6 mm)は、2011年に初めてスマートフォンに採用され、ナノレベルの超微細結晶粒組織を持つねじとして世界初の実用化となった。

この高強度マイクロねじの製造工程中のCO₂排出量は、従来方法490 kg/tに比べ240 kg/tで約50%の削減効果があった。ねじは大量生産品であり、CO₂排出量の少ない製造工程の

*物質・材料研究機構特別研究員を併任。

高強度マイクロねじの開発

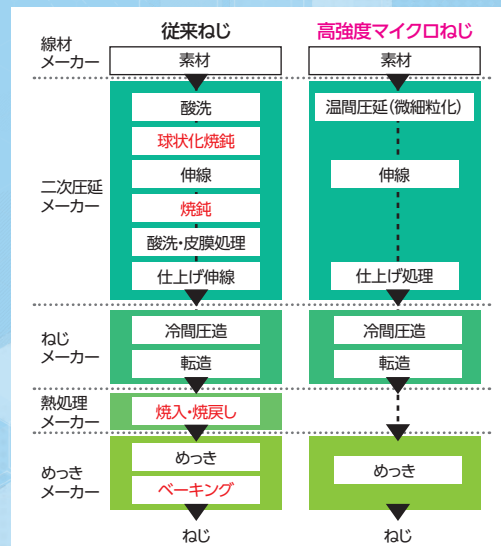
■高強度マイクロねじの外観 (M1.6マイクロねじ)



■超微細粒鋼の量産コイル (物質・材料研究機構と大阪精工株式会社の共同開発)



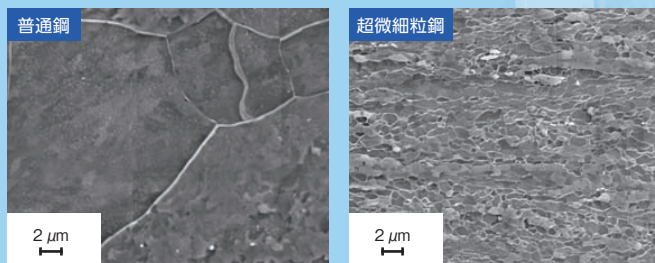
■ねじの製造工程



線材に焼鈍を施し、軟らかくしてから冷間圧造し、その後で強度を得るために焼入・焼戻しを行うのが、一般的な製造方法である。高強度マイクロねじでは、超微細粒鋼の線材を製造して熱処理工程を省略することができた。

(資料提供:兵庫県立大学大学院 鳥塚史郎教授)

■普通鋼と超微細粒鋼の結晶組織の比較



普通鋼の粒径20 μmに対し超微細粒鋼は数十分の1程度の結晶粒である。

導入は、環境性能の向上に効果的であることが明らかになった。

今回の高強度マイクロねじの開発および量産技術を生かして、今後は医療用製品などの新たな分野への展開が期待されている。

表面実装工程で重要なメタルマスク

スマートフォンをはじめ、パソコンや家電、自動車でも電子化が進み、どのような電子機器にもプリント配線板が使われている。プリント配線板は、LSI、抵抗器、コンデンサなどの電子部品を表面に搭載し、それらの部品間を配線で接続して電気信号を伝達するものであり、絶縁性のある基板上に、導電体で回路配線を構成する。最近のように、LSIの大容量化や高機能化が進むと、プリント配線板の小型化、薄型化、高集積化のニーズが高まり、実装技術の高度化が進んでいる。

プリント配線板上で使われる回路用材料が、溶ダペースト(はんだ粉末とペーストフラックスを混合したもの)である。溶ダペーストを使ったはんだ付け工程は以下のとおりである。まず、プリント配線板の上にメタルマスクという版型を重ねる。メタルマスクのうえに、クリーム状の溶ダペーストを流し込み、スキージと呼ばれるヘラで上から刷り込む。その後、メタルマスクを取り除くと、配線部に溶ダペーストが残っている。これに部品等を実装してから、炉の中で加熱することによりはんだが溶けて、配線が行われる。

メタルマスクにはステンレス鋼板が使われ、配線部にはレーザ光で微細な穴がけられる。以前はフォトエッチングという方法が主流だったが、実装部品が高密度化するとともに、より微細な加工に適したレーザ加工への移行が進んだ。同時に、穴の寸法や形状の加工精度への要求は高度になり、穴と穴のピッチは小さいものでは300 μm程度のももある。またメタルマスク用ステンレス鋼板は、おおむね数千回以上の印刷に耐えなくてはならず、穴の形状を保持しつつ十分な耐久性が要求される。

微細粒化により高精度加工を実現

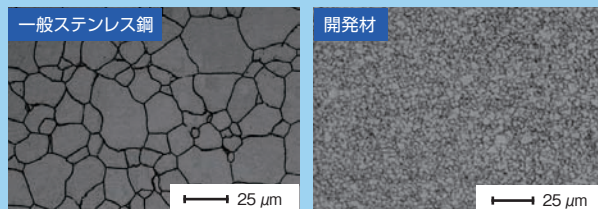
このようなニーズに対応し、ステンレス鋼板で結晶粒を1~2 μmに微細化して、メタルマスク用に精密加工性を向上した超精密加工用ステンレス鋼板が開発されている(新日鐵住金(株)による)。

メタルマスク用ステンレス鋼板の製造にあたっては、熱間圧延の後に、冷間圧延-焼鈍により結晶粒を1~2 μmに微細化し、次に調質圧延により所定の板厚と材料強度に調整される。その後テンションレベラで曲げ-曲げ戻しを行って板の平たん度を確保する。

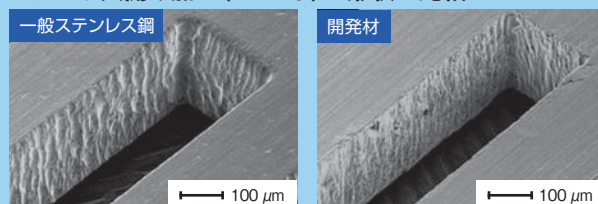
テンションレベラの後には、材料内部に大きな残留応力が蓄積され、加工時に反りが発生する。これを防ぐため、ストレスリーフという熱処理を施すが、せっかく冷間圧延で得られた硬さが失われないよう、残留応力低減と硬さ保持を両立できるような低温熱処理

超精密加工用ステンレス鋼板の開発

■一般ステンレス鋼と開発材の結晶組織の比較

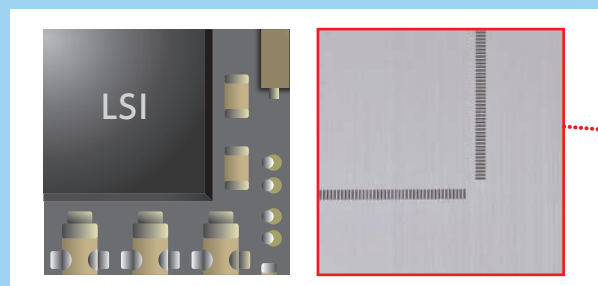


■レーザ穴開け加工（スロット）の形状の比較



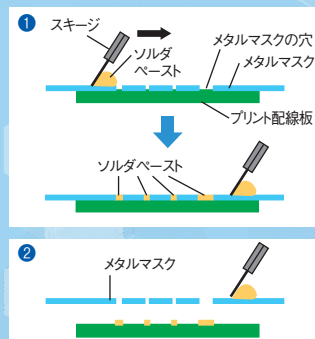
開発材の方が、穴開け加工の寸法精度、加工後の面精度などに優れている。

■メタルマスク上のレーザ加工

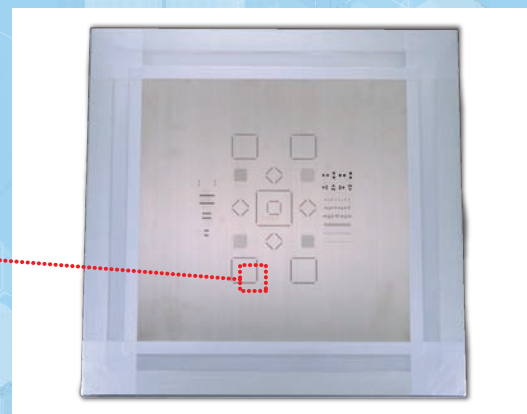


メタルマスク上の穴と穴の間のピッチは、小さいもので300 μm程度である。
(左は実装時のLSIのイメージ)

■プリント配線板におけるはんだ付け工程



- ①メタルマスクとプリント配線板を重ねる。メタルマスクの上にクリーム状の溶剤ペーストを流し込み、ヘラ（スキージと呼ばれる）で塗り込む。
- ②メタルマスクを取り除くと、必要な箇所には溶剤ペーストが残っている。プリント配線板に部品を配置し、熱風（リフロー炉）に入れると、はんだが溶けて部品が接続される。



開発材によるメタルマスク（テストパターン）

（資料提供：新日鐵住金（株））

を行う。

開発材のベースとなるSUS301LはSUS301の低炭素鋼（17Cr-7Ni-低C-N）で、耐粒界腐食性や溶接性に優れている。さらに、結晶粒微細化を図るため、以下のような化学成分の調整を図った。まず、低温熱処理時のCr炭化物析出を減らすためにC量を低減し、強度低下を補うためN量を増加した。さらに、NbNを粒界に析出させて粒成長を防止する効果を狙いNbを添加した。

こうしてできたメタルマスク用ステンレス鋼板は、実際にはどの程度の精密加工が可能なのか。

開発材にスロットと呼ばれる細長い穴を開けたところ、穴の外形の寸法精度に優れ、滑らかな加工面が得られた。もし加工面が粗いと、溶剤ペーストとメタルマスクとの摩擦により印刷効率が低下するおそれがあるため、加工面の品質は重要である。

またメタルマスクをレーザ加工する時には、金属が一度液化してから固まったドロス層が付くことがある。これがバリとなると作業中に除去しなくてはならず、生産効率が大きく低下する。従来材に比べ開発材はドロスが少なく、バリも付きにくいという特徴がある。

プリント配線板メーカーやメタルマスクメーカーは世界中に数多く

あるが、その製品グレードはさまざまである。世界のプリント配線板の生産は中国に集中しているが、スマートフォンやタブレット端末のような高度な製品には、日本製のメタルマスク素材が多く使われている。その中でも結晶粒微細化を図った開発材は、もっともグレードの高いものの1つである。現在、精密加工用ステンレス鋼板の需要は、全世界で年間1,000 t以上といわれ、今後さらに高まる高精度化のニーズへの対応を進めるという。

微細粒鋼という観点から2つの鉄鋼材料を紹介したが、これ以外にも高加工性材料やばね材料などの鉄鋼材料が使用されている。

2015年には腕時計型の端末が登場しスマートフォンと合わせて人気を集めた。今後もますます変化を続けると思われるが、同時に高性能LSIや高解像度ディスプレイ、バッテリーの長寿命化などの技術も大きく進歩することだろう。世界が注目する開発競争の中で、日本の鉄鋼製品・技術が存在感を示すことを待ちたいものである。

- 取材協力 兵庫県立大学大学院 鳥塚史郎教授、新日鐵住金（株）
- 文 杉山 香里