

© 1984 ISIJ

鉄箔の製法と性質

新しい技術
🔗🔗🔗🔗🔗

筒井 信行*・田中 義啓*・小池 一幸*2

Manufacturing Process and Properties of Iron and Steel Foil

Nobuyuki TSUTSUI, Yoshihiro TANAKA, and Kazuyuki KOIKE

1. ま え が き

スチールフォイル(鋼箔)は一般に 150 μm 以下の極薄冷延鋼板をさし、我が国でも最小厚み 50 μm までの範囲ですでに各社で製造されている。現在とられている製造法は広幅冷延鋼板用の 4 段圧延機を中心にしたものが普通である。広幅冷間圧延機による圧延は、従来 50 μm までが実際の限界とみられていたが、設備の進歩、圧延油の改善などで最近では 30 μm 、あるいはそれ以下の圧延が話題になつている。

一方、圧延法とともに鉄鋼系の箔のもうひとつの工業的生産法である電解法は、我が国でも数年前から実用化され、得られる成分がほぼ純鉄に近いことからアイアンフォイル(鉄箔)と呼ばれる。アイアンフォイルは最小 15 μm までの厚み範囲をカバーしている。

製造される厚み範囲と特性に若干の差はあるが、スチールフォイルとアイアンフォイルは同じ鉄鋼系の材料で、いずれも志向する用途は鉄の特性を利用した分野で共通しており、今後とも、それぞれの特徴を活かして発展することが期待される。ここでは、スチールフォイルとアイアンフォイルの製造法と特性、用途を紹介する。

2. スチールフォイルの製造法

2.1 一般的な製造法

Fig. 1 に圧延法によるスチールフォイルの製造プロセスを示す¹⁾。基本的な製造プロセスとしては、原材料として熱延コイルを用い、冷延で中間厚みに仕上げたものを 2 次冷延において数パスで所定の厚さまで圧延するものである。当社の場合、2 次冷延は 4 段圧延機で行っている。Table 1 に 2 次冷延用の圧延機の 1 例を示すが、この圧延機は、薄物ぶりき製造用の 2 スタンド DCR 圧延機であつて、箔専用ミルではない。Fig. 1 に示すように、スチールフォイルの製造プロセスには数種類の工程フローがあり、フォイルの要求特性によりつくり分けられる。Table 2 にスチールフォイルの種類とその特徴を示す¹⁾。表中軟質タイプの製造には 2 次焼鈍が必要であり、通常箱型焼鈍によるため、100 μm 以下の板厚の

ものは難しい。また、スチールフォイルを表面状態で分類すると、圧延後未処理のものと表面処理したものがある。2 次冷延後亜鉛、錫などのめつき処理をする場合には、箔専用の表面処理ラインが必要である。用途によっては、2 次冷延前に亜鉛または錫めつきを行い、2 次冷延時の潤滑効果の向上および製品の耐食性向上を目的とした、ジंकファースト法およびティンファースト法が適用される。この場合には当然ながら硬質タイプになる。

Table 1. Specification of DCR mill.

Type	4 high 2 stand tandem mill
Back-up roll	1 245-1 345 mm ϕ ×1 168 mm (No. 1 Stand) 1 092-1 194 mm ϕ ×1 168 mm (No. 2 Stand)
Work roll	483-533 mm ϕ ×1 219 mm
Maximum rolling speed	670 mpm
Main motor	1 500 kW DC (No. 1 Stand) 1 312 kW DC (No. 2 Stand)
Lubricant	Parm oil, Tallow base oil
Screw down system	Motor drive screw down
Bearings	Back-up roll : Oil film Work roll : Taper roller

Table 2. Kinds and features of cold rolled steel foil.

Type	Surface treatment	Features
Full hard	Non-treated	As-cold-rolled foil with high tensile strength. Relatively light forming such as bending is possible. Heavy forming is not recommended.
	Zn plated	Zn plated before or after final cold reduction. This type shows good corrosion resistance. Especially, Zn-last foil has excellent printing and laminating properties.
	Sn plated	Sn plated before or after final cold reduction. This type shows good corrosion resistance. Especially, Sn-last foil has excellent printing and laminating properties.
Ductile	Non-treated	Ductile foil with good formabilities (deep drawing, embossing etc.) and adhesion properties in printing and laminating.
	Zn plated	Zn plated after annealing and temper rolling. It shows excellent corrosion resistance and adhesion properties in printing and laminating.
	Sn plated	Sn plated after annealing and temper rolling. It shows excellent corrosion resistance and adhesion properties in printing and laminating.

昭和 58 年 11 月 2 日受付 (Received Nov. 2, 1983) (依頼新しい技術)

* 東洋鋼鋳(株)下松工場 (Kudamatsu Plant, Toyo Kohan Co., Ltd., 1302 Higashitoyoi Kudamatsu Yamaguchi pref. 744)

*2 東洋鋼鋳(株)技術研究所 (Technical Research Laboratory, Toyo Kohan Co., Ltd.)

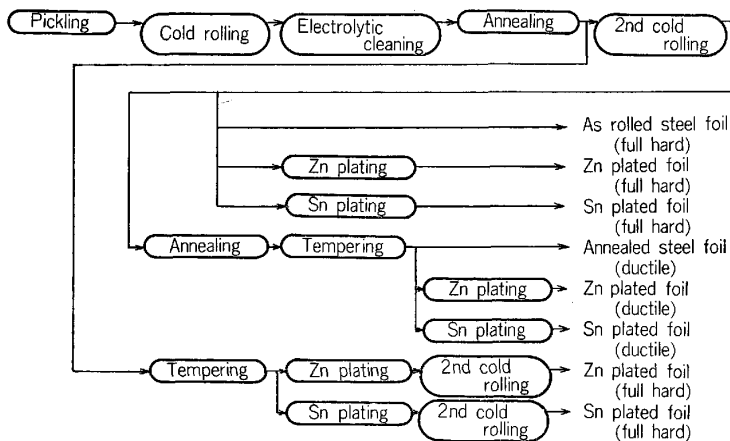


Fig. 1. Manufacturing process of steel foil.

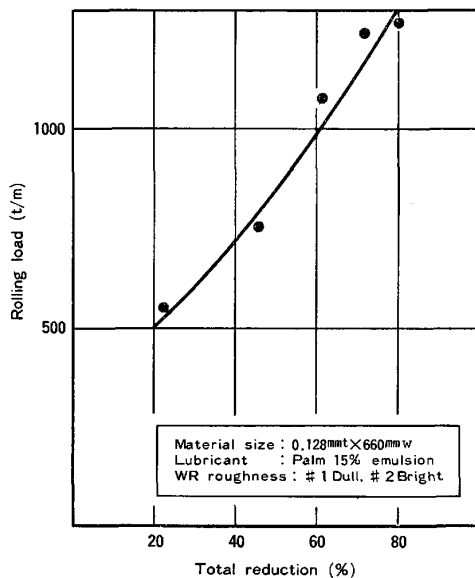


Fig. 2. Influence of total reduction on rolling load. (#2 W.R. Dia: 400 mm ϕ)

2.2 スチールフォイル製造上の問題点

スチールフォイルは、極薄ぶりきなどの延長線上に位置するため、50 μ m以上の厚さに対しては格別新しい技術が用いられているわけではない。しかし、スチールフォイルの圧延は、圧延限界近傍の作業になるため、圧延性の向上はもちろん、板破断がない圧延スケジュール、圧延箔の形状、巻き取り作業、コイルハンドリングなどが重要な要因である。

Fig. 2に既述のDCRミルのNo. 2スタンドのワークロール径を通常の530 mm ϕ より約25%小さい400 mm ϕ に変更し、板厚0.128 mmの原板をほぼ一定の圧下率で繰り返し圧延した場合の圧延荷重の変化を示す。周知のように、母材厚が薄くなるほどロール偏平およびキスロールなどの影響により圧延性は悪くなり、一定の圧下率を得るための圧延荷重は大きくなっていく。従って、スチールフォイルの圧延を少ない回数で経済的に行うには、圧延荷重の減少が必須条件である。この目

的に対して、潤滑性の良い圧延油やワークロール表面仕上げの選択とともに、PV圧延や小径ワークロール圧延などが考えられる。PV圧延の効果についてはすでに発表されているので詳細は省くが、等速圧延に比べて圧延荷重が大幅に減少し、圧下率の増加に伴う圧延荷重の増加も等速圧延より少ない。これは、パス回数の減少をはかる観点から、高圧下率をとりたいスチールフォイル圧延に有利と考えられる点である。また、圧延荷重低減には、小径ワークロールを使用することも有効である。最近、ワークロールを小径化した5段、6段圧延機も使われ、また、4段圧延機においても設備許容限界内で小径ワークロールを使う例が多い。

また、圧延荷重以外の問題として、全圧下率が高くなるほど、ピンホール、耳割れ深さ、形状が悪化するという問題がある。そのため、30 μ m程度の箔を圧延によって製造する場合は、こうした問題への対応策が必要である。特に形状については、広幅で形状良好なスチールフォイルを得るために圧延作業の改善も必要であるが、テンションレベラーによる矯正も考えられ、この場合、当社で開発した、板の曲げ半径を小さくとれるハイドロテンションレベラーが有効である²⁾³⁾。

3. アイアンフォイルの製造法

アイアンフォイルの製造法は、鉄イオンを含む電解液より金属基体上に所定の厚みに鉄を電着し、それを基体より剥離するもので、このためには、電着した鉄が容易に剥離する基体、剥離に耐えられるダクタイルな鉄が得られる電解液、電解条件が重要である。金属基体として、ステンレス、チタンなどの回転ドラムを選べば、アイアンフォイルを連続して製造できる⁴⁾。Fig. 3には回転ドラムタイプの製造装置を示した。回転ドラムと等間隔に配置した陽極の間に電解液を循環し、通電することによりドラム上に鉄を電着し、それを剥離し、必要に応じてめつき、化成処理などの表面処理を行うものである。電解液としては、塩化第1鉄⁵⁾⁶⁾、硫酸第1鉄⁷⁾を主

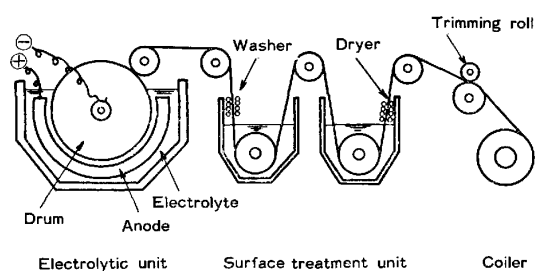


Fig. 3. Schematic illustration of drum type process of iron foil.

成分とする液、これらの混合液⁹⁾、あるいは、スルファミン酸鉄⁹⁾、ほうふ化鉄¹⁰⁾を主成分とする液などがあげられる。また陽極としては、可溶性陽極と、カーボンなどの不溶性陽極がある¹¹⁾が、陽極の加工、交換頻度、スクラップ利用の面から不溶性陽極が有利である。アイアンフォイルの厚みは基体の回転速度と通電量により制御し、厚みの下限は、基体からの剥離および通板によつて制約を受け現状では $15\ \mu\text{m}$ であるが、将来は、更に薄いアイアンフォイルの製造も可能になるであろう。

4. アイアンフォイルとスチールフォイルの性質

4.1 機械的性質

Table 3 に各種箔についての機械的性質の代表例を示す¹⁾。抗張力は、圧延のままのスチールフォイルが高く、アイアンフォイルは、軟質スチールフォイルより若干高い程度である。引き裂き強度は、アイアンフォイルが最も小さく、手でも容易に引き裂ける。また、アイアンフォイルは方向性が少ないので、絞り加工時、耳の発生がない。

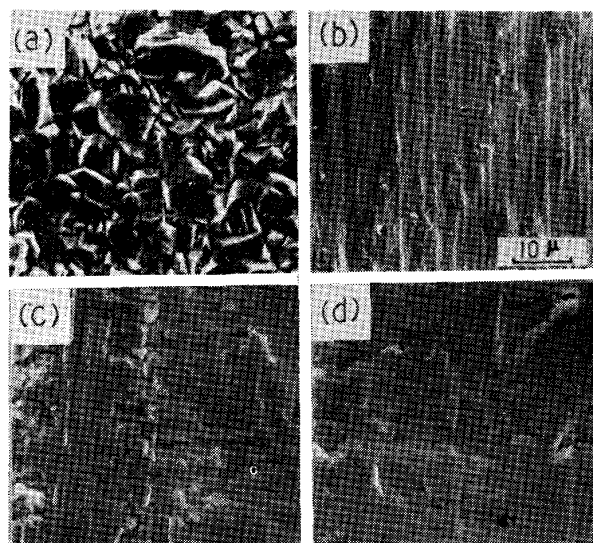
4.2 表面状態

Photo. 1 にアイアンフォイルとスチールフォイルの表面写真を示す。特徴的なのはアイアンフォイルの表面で、表裏で異なる表面状態を呈し、電着面（電解液と接していた面）は鉄電着特有のピラミッド状の多数の結晶よりなる粗い梨地状表面であり、基体面（基体と接していた面）は基体の表面の研磨跡まで忠実に転写した表面である。鉄の電着面は、他の金属表面に比べ粗く表面積

Table 3. Examples of mechanical properties of various foils.

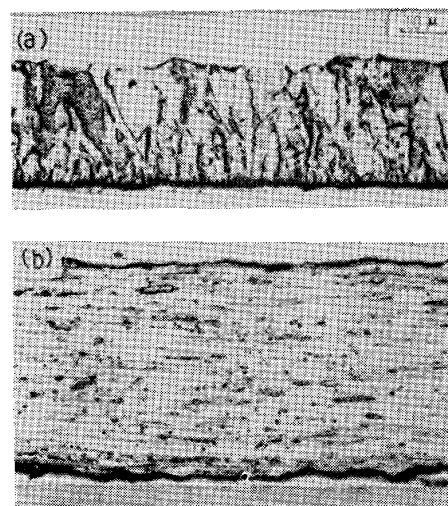
Foils		TS (N/mm ²)	El (%)	Tearing strength (N)	Bursting strength (N/cm ²)
Iron (30 μm)	L※	394	3	0.94	94
	C※	369	3	0.98	
As rolled steel (55 μm)	L	609	1	3.17	159
	C	673	1	3.41	
Ductile steel (55 μm)	L	321	26	5.52	265
	C	309	27	5.33	

※ L: Longitudinal (Rolling) direction
C: Cross direction



(a) Deposit side of I.F. (b) Drum side of I.F.
(c) Top side of S.F. (d) Bottom side of S.F.

Photo. 1. Scanning electron micrographs of foil surface.



(a) Iron foil (b) Steel foil

Photo. 2. Metallurgical structure of foils.

が大きいので、他の材料とラミネートする場合に強固な接着力を必要とする用途、印刷材料のように表面に保水性を必要とする用途、あるいは、電池極板、触媒のように反応面積を必要とする用途には好ましい。

4.3 金属組織

Photo. 2 には、アイアンフォイルとスチールフォイルの金属組織を示す。スチールフォイルは、結晶粒が圧延方向に長く伸ばされた組織をしているが、アイアンフォイルは、厚み方向に結晶が成長した柱状晶組織を呈し、基体に近い方が結晶粒が細かく、したがって、アイアンフォイルの厚みが増すと表面粗度は大きくなる。

4.4 化学成分

Table 4 には、各種厚みのアイアンフォイル、スチールフォイル、市販の電解純鉄（昭和電工製）の化学成分を示した。スチールフォイルの純度は、その製造法から

Table 4. Chemical compositions of iron foil and steel foil.

Samples	(wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Al	
Iron foil	15 μm	0.005	0.004	0.001	0.002	0.004	0.002
	20 μm	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003
	30 μm	0.004	0.004	0.001	0.002	0.003	0.002
	50 μm	0.004	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003
Steel foil	0.08	0.01	0.29	0.020	0.021	0.003	
Electrolytic iron	0.006	0.002	0.003	0.002	0.006	0.003	

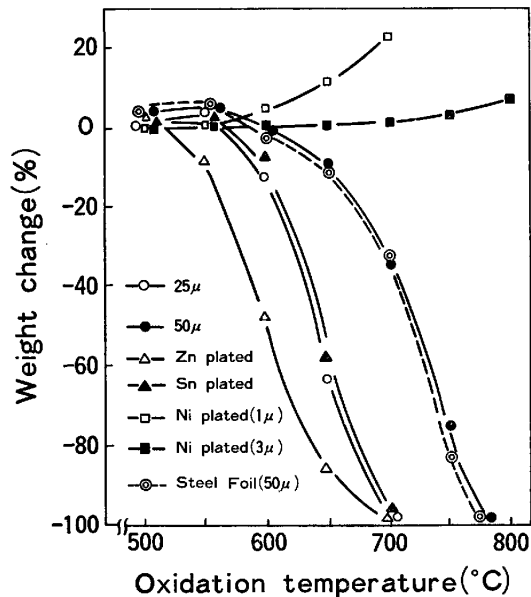


Fig. 4. Weight change of various foils at high temperature oxidation in air for 30 min.

通常の低炭素鋼並みとなるが、アイアンフォイルの純度は、その製造法が電解によるため、高純度といわれる市販の電解純鉄に匹敵するものである。

4.5 空気中における高温酸化

Fig. 4には、50 μm のアイアンフォイルとスチールフォイル、25 μm の各種表面処理を施したアイアンフォイルを 500~800°C で 30 min 空気酸化した時の重量変化を示した。ニッケルめつき箔を除いた他の箔は、550°C まで酸化によるわずかな重量増を示し、600°C 以上になると酸化膜が脱離しはじめて重量が減少し、25 μm のアイアンフォイルは 700°C、50 μm のアイアンフォイルとスチールフォイルは 800°C ですべて酸化物になり灰化する。ニッケルめつき箔は酸化されにくい。酸化膜が脱離せず、この傾向はめつき厚が厚いほど顕著で、3 μm のニッケルめつき箔は 800°C でも灰化せず、耐酸化性がすぐれていることを示している。使用後焼却廃棄を必要とする用途の場合はニッケルめつき以外で、しかも薄い箔が好ましく、逆に耐火性を必要とする用途にはニッケルめつき箔が適している。

4.6 磁氣的性質

現在市販されている 50 μm 以下の広幅金属箔の中で、アイアンフォイルとスチールフォイルは強磁性体である

Table 5. Magnetic properties of iron foil and steel foil.

Foil	Foil	Br	Hc	(μm)
		(Wb/m ²)	(A/m)	
Before annealing	Iron (50 μm)	0.69	446	930
	Steel (55 μm)	0.67	454	590
After annealing*	Iron (50 μm)	1.50	66	8500
	Steel (55 μm)	1.03	151	2480

* annealed at 850°C for 1 h.

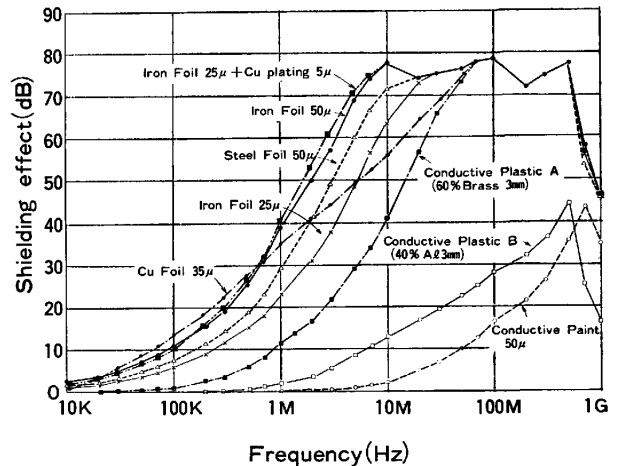


Fig. 5. Electromagnetic shielding effect of various materials.

という特徴を持ち、この磁石につくという感磁性を応用した紙やプラスチックとの複合材料の開発が進められている。さらに一歩進んで、磁気シールド、トランスの鉄芯などの軟磁性材料としての応用も考えられている。

Table 5には、アイアンフォイルとスチールフォイルの磁気特性を示した。アイアンフォイル、スチールフォイルとも焼鈍により軟磁性材料としての特性は向上するが、未焼鈍、焼鈍後ともアイアンフォイルの特性の方がすぐれており、箔の純度と関係あるものと考えられる。

4.7 電磁波シールド特性

最近、アメリカ FCC(連邦通信委員会)などによる電磁波障害の規制強化の動きに対し、各種デジタル機器の電磁波シールドが大きな話題となつている¹²⁾¹³⁾。これは、デジタル機器の筐体が、量産性、軽量化などの目的で、電磁波シールド性のないプラスチックに変えられてきたことによるものである。このような筐体に電磁波シールド性を持たせるためのひとつの方法として、金属箔を筐体に貼りつけることも大きな効果がある。Fig. 5に示すように、各種材料の中でアイアンフォイルとスチールフォイルは、非常にすぐれた電磁波シールド性能を持っている。また、アイアンフォイルに銅めつきをすることにより、特に高周波域でのシールド性能が大きく高められる。これは、表面の電気伝導度が改善された効果と考えられる。

5. アイアンfoilとスチールfoilの用途

アイアンfoilとスチールfoilは、以上述べてきた特徴を生かして、現在各種用途に適用、あるいは適用が検討されている。比較的厚みの厚い用途にはスチールfoilが用いられ、代表的な用途例としては、乾電池極板、ガスケット (厚み 80~100 μm)、フレキシブルチューブ (110~120 μm)、同軸ケーブル、フィン材、抵抗器キャップ (130 μm)、インナーシールド (150 μm) などがあげられる。50~60 μm 以下になると、紙やプラスチックとの複合材にして使う用途が大部分となり、代表的な用途としては下記のものがある。

- 1) 感磁性用途~白板, 地図, 教材, ゲーム盤
- 2) シールド用途~フロッピーディスクケース
磁気カードケース
電磁波シールドテープ
- 3) 建材用途~天井パネル, 襖, 壁紙, 間仕切り
- 4) 機械部品~シム材, ガスケット
- 5) 電子部品~振動板, 面状発熱体, 電池極板
- 6) その他~ダンボール, 包装材料

上記の用途は一部を除き、アイアンfoil, スチールfoilとも適用できるが、幅広のものが得られること、他材料とのラミネート時の接着性、形状安定性の面からアイアンfoilの方が使いやすいといえる。ただし、アイアンfoilの場合にはコスト面から厚み制約を受け現在 20~25 μm の厚みを中心として各種用途に適用、あるいは適用が検討されている。

6. あとがき

以上、アイアンfoilとスチールfoilの製造

法、特性、用途について、筆者らの経験を述べてきたが、50~60 μm 以下の厚み範囲のものになると、出はじめてからまだ日が浅く、量的にはまだ少ない。しかし、この程度の厚み範囲になると、従来の鉄がもつ、硬い、重いというイメージがなく、どちらかといえば紙のイメージに近く、軽薄短小の時代といわれる現代にマッチした新素材といえる。これら極薄の鉄鋼材料の用途は、前項で述べたもの以外にもさまざまなものが考えられ、今後、時代の要求に応える素材として、いつそう、市場に定着していくことが期待される。

文 献

- 1) 川並高雄, 卯田清嗣: 塑性と加工, 19 (1978), p. 849
- 2) K. YOSHIZAKI, K. HAMACHI, and K. NISHIMURA: Iron Steel Engr., 60 (1983), p. 35
- 3) 浜地一孝, 西村邦雄, 藤井 正, 富永勝彦, 山内慎二: 東洋鋼鉄, 24 (1978-1979), p. 1
- 4) 西 義之: 金属材料, 14 (1974), p. 99
- 5) C. KASPER: J. Research Natl. Bur. Standards, 18 (1937), p. 535
- 6) WILLIAM B. and STODDARD Jr.: Trans. Electrochem. Soc., 84 (1943), p. 305
- 7) 川崎元雄, 水本省三: 金属表面技術, 13 (1962), p. 464
- 8) E. M. LEVY: Plating, 55 (1968), p. 941
- 9) 林 禎一, 上野 浩, 高木修司: 名古屋工業技術試験所報告, 15 (1966), p. 14
- 10) E. M. LEVY and G. J. HUTTON: Plating, 55 (1968), p. 138
- 11) P. K. SUBRAMANYAN and W. M. KING: Plating, 69 (1982), p. 48
- 12) 中山紘一: プラスチック, 34 (1983), p. 37
- 13) NIKKEI MECHANICAL (1983年5月23日号), p. 96