

いるため塗装後も大部分が金属すずのまま残存し、溶接に最低限必要な量まですずめっき量を減少させることができる。また、高温加熱時のすずの合金化も抑制されるので、高温短時間焼付けなど塗装工程の短縮化が可能である。将来、板厚のゲージダウン化が進み、シートコートから高温短時間焼付けのコイルコート化された場合に有用な素材と考えられる。

### 3. TFS-CT

TFS-CT は最表層に導電性の悪いクロム水和酸化物を有するため、通常、皮膜を研磨除去して溶接される。しかし、研磨層による環境汚染や溶接の不安定さなどの理由により、無研磨溶接技術が望まれている。TFS-CT の表面抵抗を低下させるために、金属クロムを粒状の形態にした材料が 18 リットル缶などに一部使用され始めている。粒状クロムを高密度に分布させることにより、導電性の悪いクロム水和酸化物皮膜を溶接時の圧力により破壊し電流の経路を形成するため、溶接性が改善されるものと考えられる。

一方、平滑な金属クロム層の上に、導電性の悪いクロム水和酸化物を可能な限り少なく析出させて溶接性を改善する考え方もあり、極少量ながら使用されている。これらの難溶接材料は溶接機の改良（例えば、電流波形の制御や高加圧など）と組み合わせると、溶接電流範囲を実用に耐える程度まで広げることができれば、用途拡大が期待される材料である。

### (4) スチール・イーザーオープンエンド

スチールのイーザーオープンエンドはトマトジュースのように食塩を含有する飲料缶に 1972 年以来、一部用いられているが、開缶性やスコア部の補修塗装の点で普及していない。最近では、タブ公害、再資源化などの環境問題に端を発し、蓋を開口した際にタブの離れないアルミ材のスティオンタブエンド (SOT) が開発実用化されている。今後はこの SOT のニーズが強くなり、飲料缶用金属蓋として主流を占めるものと考えられる。

スチールの SOT も国内外で研究開発されているが、現時点では米国で少量実用化されているに過ぎない。欧州ではスチールを使用したプッシュボタン式のイーザーオープンエンドが少量実用化されているに過ぎない。食缶分野においてもフルオープン形式の蓋材の開発が積極的になされ、NRC (Non-repair coat) を特徴としたスチールフルオープン用ラミネート材も 1988 年頃より実用化されている。

### (5) おわりに

飲料缶の 2 ピース化およびアルミ 2 ピース缶の容器市場への拡大が予測される環境の中で、缶用表面処理鋼板の需要の伸びを持続するためには、今後は缶コスト低減に重点を置いた研究開発が必要である。鋼板の板厚減少および表面皮膜量の低減と、それに伴う製造上、成形加工上、搬送上の問題などを製缶メーカーと連携して解決していくことが必要であろう。連続高速安定生産技術の確立、製造プロセスの単純化、合理化を追求し、より低コストで高品質を維持した製造面の工夫も重要である。

コスト面の外、飲料容器の製造エネルギー、環境への負荷、リサイクル問題など“地球にさらに優しい缶用材料”の出現に向けて、スチール缶用表面処理鋼板メーカーは今までに築いてきた実績に甘んじること無く、さらなる研究開発を継続することが必要であろう。

## 6.3.4 塗覆装鋼材

### (1) 概要

鋼管に代表される塗覆装鋼材は、長期防食を目的とした外面被覆と、防食と内部流送物の抵抗減少による輸送効率の改善を目的とした内面被覆がある。その用途は、従来の配管用鋼管に加え、土木建材用の鋼管杭、鋼管矢板などへの塗覆装鋼材の利用が増加している。これらの被覆には、高い防食作用を持つ有機被覆材料が使用される。ここ 10 年間でも、有機被覆材料は、その被覆プロセスおよび材料自体の改良が進められ、防食性や耐熱性の向上、カラー化などの高機能を付加した製品が開発された。加えて、重防食被覆鋼材の実暴露、埋設試験データの蓄積、寿命推定評価方法の改良による性能確認が行われ、その高い防食性が一般に評価されるようになってきた。

### (2) 外面被覆

防食被覆は、昭和 30～40 年代にはアスファルトなどの瀝青質による鋼管の内・外面塗装が実施されていた。昭和 40 年代後半から塗覆装の主流は、瀝青質から外面プラスチック被覆へと徐々に変わり、現在に至っている。プラスチック被覆には、熱硬化性のエポキシ、熱可塑性のポリエチレンなどの合成樹脂が使用されている。また、異形鋼管や鋼管杭、鋼管矢板の塗覆装には、厚膜塗装が可能であるポリウレタンが被覆材料として多用される。

ポリエチレンはプラスチック材料の中でも、吸水率などの防食特性に優れ、安価であり、重防食被覆材料に適している。また、押出被覆により、数 mm の厚膜被覆が可能であることから、ポリエチレン被覆鋼材は優れた防食性と耐傷性を持ち、現在の主流な被覆製品となっている。ポリエチレン押出被覆は、鋼材表面をブラスト処理で除錆し、化成処理した後、プライマーを塗装し、変性ポリエチレン接着剤を介してポリエチレンを押し出被覆した多層構造を持つことにより、被覆と鋼材が強固に接着し、数十年の防食が期待できる。このため、ポリエチレン押出被覆は、ロシアなどの寒冷地から、サウジアラビアなどの熱帯地域まで幅広く適用されている。

特に近年、ラインパイプの施工現場での防食テープによる簡易被覆での腐食事故が多発し、ポリエチレン押出被覆のように性能の安定した被覆鋼管が求められている。その結果、さらに接着性、耐陰極剥離性などの防食性能の向上が期待されている。また、ポリエチレン被覆に対し、氷の凍着、砂による摩耗などの種々の環境に対する適用評価試験とその改良も行われている。

一方、防食以外の機能を持つ被覆鋼管では、外面に従来の

瀝青質の粘着層とポリエチレン、ポリウレタンの保護層を組み合わせた滑り層付き鋼管杭が開発され、地盤沈下の大きい地域で利用される。

### (3) 機能性被覆

ポリエチレン、ポリウレタンを用いた被覆に、後述の各種の機能付加が積極的に行われている。

まず、地域冷暖房システムや重質油の高温輸送への対応のため、ポリエチレン被覆の耐熱性向上が研究され、80℃で連続使用できる耐熱用ポリエチレン被覆鋼管が開発された。さらに、80℃以上の使用温度に対してはポリエチレンよりも融点が高く耐熱性に優れたポリプロピレン被覆が一部で実用化されている。

次に、近年の景観に対する関心の高まりから、鋼管杭、鋼管矢板などに使用される被覆のカラー化が行われた。カラー化の手法としては、被覆自体の耐候性を改良し、ポリエチレン、ポリウレタン被覆自体に着色を施す方法と、従来の黒色防食被覆層の上に耐候性に優れた着色塗料を塗装する方法が提案された。

### (4) 高強度被覆

道路、河川などを横断する埋設鋼管の配管方法である直押推進工法に使用される塗覆装鋼管の被覆の損傷を軽減するため、従来のプラスチック被覆上に、耐傷性に優れたガラス繊維とポリエステル樹脂からなる高強度被覆を施した高強度被覆が開発されている。

有機重防食被覆の防食性は、数10年にわたる非常に優れたものであるが、保守点検の省略のため、さらに長期の防食性をもつ塗覆装鋼材の要求がある。その一つとしてチタン合金など、耐食金属を鋼材表面に接着し防食する方法が開発さ

れ、東京湾横断道路に採用されている。

### (5) 配管用内面被覆

水道用としては、硬質塩化ビニルライニング、ポリエチレン粉体塗装、タールエポキシ塗装などが従来行われていたが、近年では、衛生面からタールエポキシ塗装に代わって、タール分を含まないノンタールエポキシ塗装が開発された。

ラインパイプ用の内面被覆には輸送効率の向上が重要で、硬化塗膜の硬度が高く、付着性にも優れたアミンダクトまたはポリアミン系の硬化剤を使用したピュアーエポキシ塗料が採用されている。

油井管、ドリルパイプでは、その使用環境が高温・高圧下であることと、掘削用マッドによる摩耗、腐食環境条件が非常に厳しく、100～200℃の高い耐熱性を持ち、耐薬品性にも優れたフェノール系のエポキシ塗料によりパイプ寿命の延命が行われている。

新規被覆としては、給湯用などの高温使用において、エンジニアリングプラスチックであるPEEKなどの研究も紹介されている。

### (6) 総括

現在、例えばカラー化などのように、機能だけでなく環境への調和といった多様化する社会ニーズや、メンテナンスフリー指向に呼応する塗覆装鋼材の開発が積極的に進められている。今後は、コストダウン対策も含めてこの傾向が続き、さらなる新製品開発と塗覆装技術の開発が期待される。塗覆装鋼材の機能付加は世界的にもあまり行われておらず、今後の開発が期待されるアジア地域などへの国際的な商品としても、ますます重要になっていくものと考えられる。

## 6.4 利用加工技術の進歩

### 6.4.1 自動車用鋼板のプレス技術

自動車用鋼板のプレス成形では、深絞り、張出し変形が複合された様式が多く、鋼板の機械的特性（面内異方性、加工硬化性、延性など）が重要であることはよく知られている。ところがこの10年間に車体防錆を目的とする表面処理鋼板が自動車車体に本格的に使用されるようになり、これらの特性以外の工具/鋼板間の摩擦挙動が深絞り性、張出し性に大きく影響を及ぼすことが認識された。さらに表面処理の種類によっては、成形時に脆弱な表面層が粉末状に脱落（パウダリング）したり、軟質な表面層が工具表面に凝着し小片状に脱落（フレーキング）することが指摘された。表面処理層の脱落は成形面の耐食性を低下させる一方、脱落物質が凝集し成形品表面に再付着し、自動車車体生産上の不良原因となる。

表面処理鋼板の開発と並行して、これらの車体成形性の問

題点を表面処理層の量、成分、相構成の適正化や潤滑性防錆油によって改善する技術が種々開発された。

#### (1) プレス成形性試験方法の開発

実際の大型パネル成形では、鋼板は工具との間で種々の摩擦の影響を受けながら、縮みフランジ変形、絞りビードやダイ肩での曲げなどの複雑な変形を受ける。したがって表面処理鋼板の開発や成形性の改善には適切な成形性評価試験方法の確立が不可欠である。従来から行われている円筒工具による深絞り試験、摩擦挙動を評価する平面摺動試験、絞りビード試験、ビード付U曲げ試験、さらに最近では実際のパネル成形の特徴を取り入れ、L型ビード試験が普及しつつある。これらを用い工具/鋼板間の摩擦挙動や耐フレーキング性、耐パウダリング性について詳細に検討された。

#### (2) Zn系表面処理鋼板のプレス成形性に及ぼす相構成の影響

車体防錆には、ZnのFeに対する犠牲防食作用を利用した