

表面処理鋼板は、通常鉄鋼メーカーで防錆油塗布後出荷され、自動車メーカーでプレス成形される。この防錆油にプレス潤滑性を付与する研究も進められた。その結果、防錆油にカルシウム化合物を添加すると Zn 系めっき鋼板の摩擦係数が低下し、また硫黄化合物の添加で凝着が防止できることがわかった。これらの添加剤を含む防錆油が高潤滑性防錆油として開発され、GA や電気 Zn めっき鋼板などに使用され始めた。もちろん防錆性、脱脂性は従来の防錆油と同等であり、今後さらに広く普及すると考えられる。

(4) 今後の研究開発動向

表面処理鋼板は、鋼板の欠点である錆の発生を抑制するも

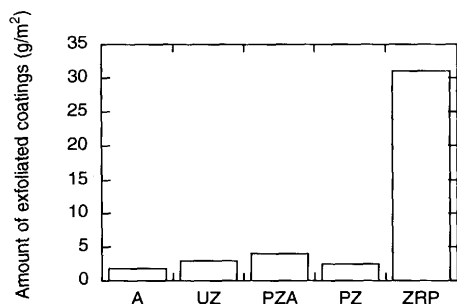


Fig. 6.21. Amount of exfoliated coatings of various pre-coated steel sheets after draw bead test.

Draw bead condition: Tip radius, 0.5R; Drawing speed, 3.3×10^{-3} m/s; Pressing force, 4.9 kN; Sample width, 3×10^{-2} m.

A: New organic composite coated steel sheet, 1×10^{-6} m; UZ: Electrogalvanized steel sheet, 70 g/m²; PZA: Galvannealed steel sheet 60 g/m²; PZ: Hot dip galvanized steel sheet, 120 g/m²; ZRP: Zinc-rich painted steel sheet, 1.5×10^{-5} m.

(Proc. Galvatech '89, (1989), p. 85)

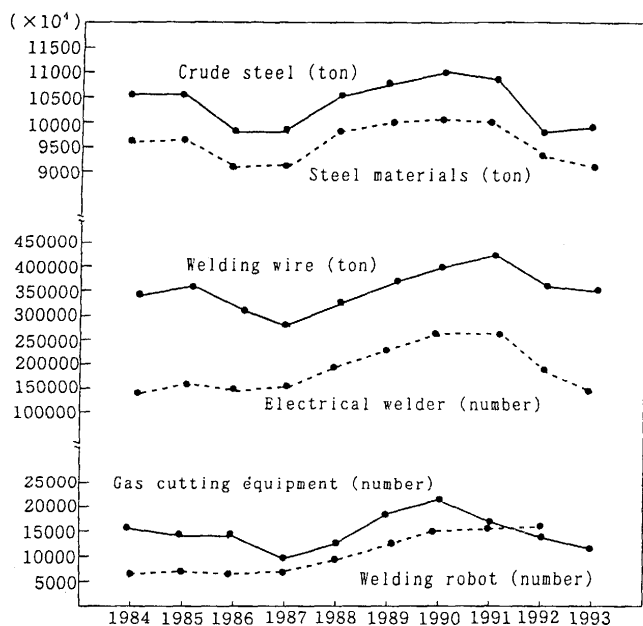


Fig. 6.22. Production change of welding materials during recent ten years. (*Weld. Tech.*, 42 (1994), No. 5, p. 102)

ので、製品の耐久性向上に重要な役割を果たしている。成形性が良好で、さらに耐食性が優れた安価な鋼板の開発は、今後とも重要な課題である。現在使用されている鋼板についても表面処理層の適正化、その安定生産技術の確立が重要であろう。摺動機構のより深い理解に基づくデータベースの作成は、今後の計算シミュレーションによる金型設計に必要な不可欠である。

6.4.2 自動車用鋼板の溶接技術

10年という間隔でみると、円高不況からバブル景気、さらには平成不況へとアップダウンが相次ぎ、産業界ではこの間に重厚長大から軽薄短小へと構造転換が進み、その後また重厚長大産業が復活してきたが、結局は全産業分野でリストラが叫ばれることとなった。この動向は、溶接関連の産業にとっても同様で、Fig. 6.22に、粗鋼、最終鋼材、溶接材料、電気溶接機、溶接ロボット、ガス自動溶断機からなる溶接関係機器・材料の最近10年間の生産推移を総括的に示す。Fig. 6.22によると、各統計ともほぼ同じグラフを描いており、1986~1987年を底に円高不況を脱して上昇に転じた平成景気は、1990~1991年にピークを迎え、1992年にバブルがはじけると時期を同じくして急激に後退していることがわかる。

本項では、表面処理鋼板を中心に溶接技術の最近の動向について概説する。

現在、一般に使用されている溶接・接合法は種々あるが、自動車用表面処理鋼板に使用されている接合法は、特殊な場合を除いて、抵抗溶接法・アーク溶接法・レーザ溶接法に代表される。これらの接合法が用いられるのは低い溶接入熱でも安定に溶接でき、かつ高い溶接能率を有するからで、その特徴を利用して自動車・家電などの薄板を使用する産業分野で広く適用されている。例えば、自動車の車体溶接工程は、抵抗スポット溶接が大半であるが、より合理的な車体組み付け技術として、車体構造に制約の少ない片面から施工可能なアーク溶接も足廻りを中心に用いられている。また、最近ではレーザ溶接についても適用が進みつつある。これらの溶接法は、自動車メーカーのロボット化による他車種混流生産完全自動ラインの実現に適した溶接法であり、1992年頃よりモジュール設計生産の検討や脱技能化の展開も進められている。スポット溶接の機器の面からいえば、トランス付ガンの導入により、2次ケーブルをなくし消費電力の節減を達成している。

表面処理鋼板のスポット溶接時の最大の課題は連続打点性(電極寿命)の低下である。電極材料と被溶接材を変化させた場合の電極寿命シミュレーション試験、簡便な連続打点性評価方法の提案、亜鉛メッキ鋼板と裸鋼板との混合打点における電極消耗過程の検討、さらには、1989年頃より急速に普及し始めたインバータ式直流抵抗スポット溶接による電極消耗特性と電極寿命に関するものなど、表面処理鋼板のスポッ

ト溶接研究は、この連続打点性（電極寿命）に集中している。表面処理鋼板の中心である Zn 系めっき鋼板の連続打点性が劣る理由は、めっき層の融点が高いこと、Zn が電極材料である Cu と合金化し、消耗が助長されることが挙げられるが、現象が非常に早いので定量的な解析は困難であった。しかし、最近、スポット溶接時のナゲット形成特性を数値計算により求めるシミュレーション技術が非常に進み、めっき鋼板の場合でも適用可能なことが明らかになった。今後、パソコンの性能向上およびモデルの簡素化により、計算時間のいっそうの短縮が可能になれば、現象解析が簡単になるばかりでなく、材料開発・溶接技術開発へも大いに役立つことと期待される。

表面処理鋼板は、金属めっき鋼板と有機コート鋼板の 2 種類に大別される。一般的に防錆能力向上には両者とも厚膜化が望ましいが、溶接性・加工性確保には反対に薄膜化が要求される。これら相反する条件を適合させるために開発されたのが、有機複合鋼板（亜鉛-ニッケルめっきに樹脂薄膜を塗装した鋼板）で、従来の有機コート鋼板の代表であるジクロロメタルの樹脂厚を大幅に薄くしている。この鋼板は耐食性を損なうことなく良好な連続打点性を確保し得ることが 1986 年頃より明らかにされており (Fig. 6.23), 実用化が急速に進み、現在に至っている。1992 年には、水系樹脂が開発され、溶接可能電流域が拡大されるだけでなく電極寿命が増大することが報告されている。また、Zn 系めっきではない非晶質 Al-Mn 合金めっき鋼板では、溶接可能域の低電流化と混合打点時の電極寿命が改善されるとの報告がある。

オイルパンなど一部の部品に使用されていた、2 枚の鋼板の間に樹脂をサンドイッチした制振鋼板の溶接技術として、樹脂層上下の鋼板を短絡させる方式（バイパス回路設置）によるスポット溶接法が 1986 年までに開発・実用化が図られている。1986 年ころより、上下鋼板間に導電性を付与し直接通電を可能にした制振鋼板の開発が進められた (Fig. 6.24)。バイパス回路なしで溶接できるため生産性が大幅に向上し、自動車・家電の分野で実用化がなされており、今後コスト低減が図られれば大幅に生産量増加が見込める材料である。

アーク溶接の分野では、インバータ制御方式の溶接電源によるアーク諸現象の改善が進み、その代表としてスパッタ低減技術について数多くの研究が、1986 年から 1987 年にかけて特に活発になされた。スパッタ発生の主原因であるワイヤ先端からの溶滴移行の不安定を電流波形を制御することにより安定させ、例えば、パルス MAG 溶接では、従来法に比べスパッタ量を約 1/10 に低減できることが報告されている。加えて、アーク溶接については、従来あまり問題にならなかった亜鉛めっき鋼板のアーク溶接部に発生する気孔に関する研究が、表面処理鋼板の使用量増加につれ、1990 年頃より活発に行われ始め、気孔発生の機構と発生量に対する溶接条件、ワイヤ組成などの影響についての報告が数多くあ

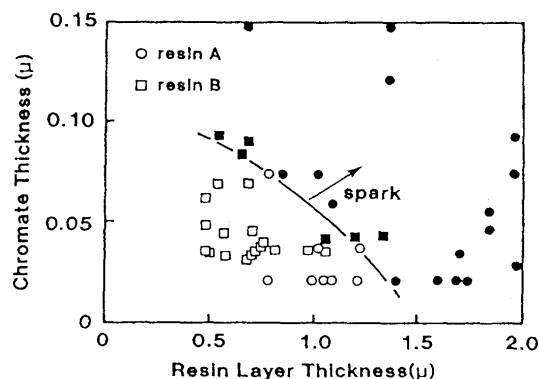


Fig. 6.23. Electrode life test results of organic composite-coated steel sheets. (*Tetsu-to-Hagané*, 3 (1990), p. 1511)

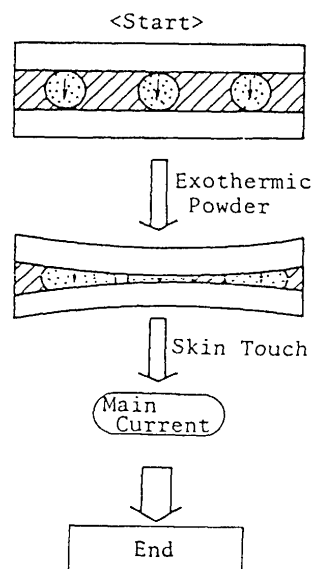


Fig. 6.24. Welding process of direct-weldable damping steel sheets. (*Tetsu-to-Hagané*, 3 (1988), p. S754)

る。

一方、レーザ溶接について特筆すべきは、従来とは異なる生産工程に適用したことである。すなわち、パーツを切断した後にレーザ溶接し、プレス成形することにより歩留まりを向上させることができる一体成形技術が確立されている。また、レーザ溶接部では熱影響部が少ないことから、後加工が省略できるメリットがある変速機の歯車やパワステの溶接にも採用され、トータルコストダウンが図られている。

バブルの崩壊と長引く景気低迷の中で新製品開発を取りまく環境は一変し、ハイテク満載の過剰でかつ豪華な製品イメージは薄れ、買い得感を全面に出した製品が多くなりつつある。今後は、より価格に見合った価値を生じる新技術、環境・安全などの社会的要請に対する新技術の採用が増加するものと考えられる。その代表例として、構造用接着剤の進歩により可能となったスポット溶接との併用技術であるウェルドボンド工法がある。本工法の付加価値としては、構造物全体の振動特性および剛性の向上が見込まれており、信頼性・

耐久性に関する早期のデータ拡充が期待される。

6.4.3 鋼構造物の重防食

社会資本の整備が進むなかで橋梁、海洋・港湾施設などにおける鋼構造物は大型化し、海岸・海上などの過酷な腐食環境で設置される一方、塗装熟練工の不足や補修費の高騰により、メンテナンスフリーの長期耐久防食技術や維持管理技術が重要視されてきた。重防食技術は鋼構造物の寿命延長をはかるコストパフォーマンスの優れた塗覆防食全般を指し、塗装、有機および無機ライニング、有機・無機複合防食工法などを含み、時代の要請に応じて近年著しく発展した。ここでは鋼橋と海洋・港湾鋼構造物を中心に重防食の発展と課題について概説する。

(1) 鋼橋

鋼橋塗装の歴史は、1960年以前は諸外国、日本とも下塗り油性系鉛丹塗料+上塗りフタル酸樹脂塗料系が圧倒的に多く、今日の温和な腐食環境用塗装仕様に相当する比較的薄膜(130~180 μ m)の一般塗装系であった。

1960年若戸大橋や東海道新幹線橋梁以降鋼橋塗装技術は著しく進歩した。ショットブラスト、ショッププライマー、タールエポキシ塗料、ジンクリッチプライマーが使用され、さらに耐水・防食性の優れた合成樹脂塗料の開発と相まって厚膜の重防食塗装の基礎ができた。

大型鋼橋に重防食塗装が使用され始めたのは境水道大橋(1970年):無機ジンクリッチプライマー+塩化ゴム系塗料、関門大橋(1971年):亜鉛溶射+フェノールMIO+塩化ゴム系塗料からであり、前者は米国、後者は英国の重防食塗装の流れをくむものであった。本邦の重防食塗装の本格的な使用は本州四国連絡橋からであり、海峡部橋梁の上部工の塗装仕様が日本土木学会など衆知を集めて検討・決定された(1976年)。大三島橋(1978年)、因島大橋(1982年)、大鳴門橋(1985年)、瀬戸大橋(1988年)で、下塗りに厚膜型無機ジンクリッチペイントにフェノールまたはエポキシMIOや厚膜型エポキシ樹脂塗料を組合せ、中、上塗りに塩化ゴム塗料かポリウレタン樹脂塗料系の厚膜(225~258 μ m)の重防食塗装が適用された。10~15年後の今日、塗膜はほぼ健全で、軽いメンテナンスのみで経過している。

この実績を踏まえて現在建設中の明石海峡大橋、関西新空港連絡橋、東京湾横断道路橋では、中塗りにウレタン樹脂塗料またはエポキシ樹脂塗料、上塗りに景観を重視した高耐候性のふっ素樹脂塗料が適用され、塗替周期は15~20年と期待されている。

1970年代後半日本道路公団、首都高速道路公団など各公団、公社、官公庁等の諸機関は、鋼橋塗装に重防食塗装を採用、規格・仕様、積算価格を設定した。最近では1990年に「鋼道路橋塗装便覧」(日本道路公団)や「鋼橋塗装基準・同解説」(本州四国連絡橋公団)が大幅に改訂された。重防食塗装はここ10年間本州四国連絡橋などの施工実績が増加する

なかで、その仕様、施工、品質、耐久性などに関する評価がほぼ定着した感がある。特に重防食塗装は工場塗装管理が基本であり、素地調整のグレードの確保、高粘度、高速硬化塗料の塗装・膜厚管理、鋼橋の構造・部位ごとの塗工配慮が重要である。

鋼橋における重防食塗装は上部工の外表面ばかりでなく、箱桁、橋脚、塔などの内面塗装に使われる。従来のタールエポキシ樹脂塗料に替わり、最近では照明効果の大きい変性エポキシ樹脂塗料(270 μ m)が使われる。継手部外面にも超厚膜エポキシ樹脂塗料とフッ素樹脂塗料系(430 μ m)が使われ、添接部では従来の未塗装から摩擦すべり係数を確保した厚膜型無機ジンクリッチペイントや防錆ボルトなどが使われ、継手防食性能を一段と向上させた。ケーブル類においては主ケーブルに重防食塗料のはけ塗り、ハンガーロープにディッピング塗装が適用された。斜張橋ケーブルには亜鉛めっきケーブル素線を黒色のポリエチレン管で覆い、ポリウレタン樹脂を圧入した複合重防食が櫃石島橋、岩黒島橋で使用された。海峡橋梁の鋼製橋脚で海洋環境のなかで最も腐食環境の厳しい飛沫・干満帯部位の防食技術としてモルタル(100mm)+鋼管(12mm)+超厚膜エポキシ樹脂塗料(2.5mm)系(関西新空港連絡橋)やチタンクラッド(チタン1mm+鉄4mm)(東京湾横断道路)などの新メンテナンスフリー複合重防食系が供用され、現在長期耐久性を確認段階である。

我が国の鋼道路橋のストックは約6万橋(橋長15m以上)、また鋼鉄道橋は5万連を越え、これらの維持管理のうち塗替え費の占める割合は大きく、合理的・経済的な塗替え周期、補修法を決定することは重要な課題である。日本鋼構造協会、JRなどの諸機関は鋼橋塗装の実態調査によって、塗膜劣化評価法(塗膜劣化度、発錆率、ケレン度など)、塗膜劣化因子(環境、構造部位、塗装系)を検討し、塗替周期を決定した。その後これに基づいて「ライフサイクル」概念を導入した合理的な塗膜設計手法および塗替・補修法が提案(1984~1989年)された。調査塗装系は油性鉛丹塗料+フタル酸樹脂塗料系が大部分であったが、重防食塗装の塗替基準・方法においても各機関などで設定(1985~1990年)され、実務的な手引書(1988~1992年)が作成されたが、データベースに基づいた検討は今後の実績を待たねばならない。

(2) 海洋・港湾鋼構造物

石油掘削リグ、プラットフォーム、シーバース、海中展望塔、ブイなどの海洋構造物の重防食技術には、船舶に適用された重防食:ショットブラストとジンクリッチプライマー+タールエポキシ塗料系が多く適用された。過酷な腐食環境の飛沫、干満帯の防食技術はエポキシ樹脂塗料、フレック入り樹脂塗料、ゴム、セメント、レジンモルタル、FRP、モネル、キューロニッケルなどのライニング、防食テープの使用実績があり、1970~1980年代にNACE、造船工業会などで規格化され、現在はほぼこの規格に添って適用されている。

港湾鋼構造物は1950年代後半から栈橋、保船岸壁や護岸