

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

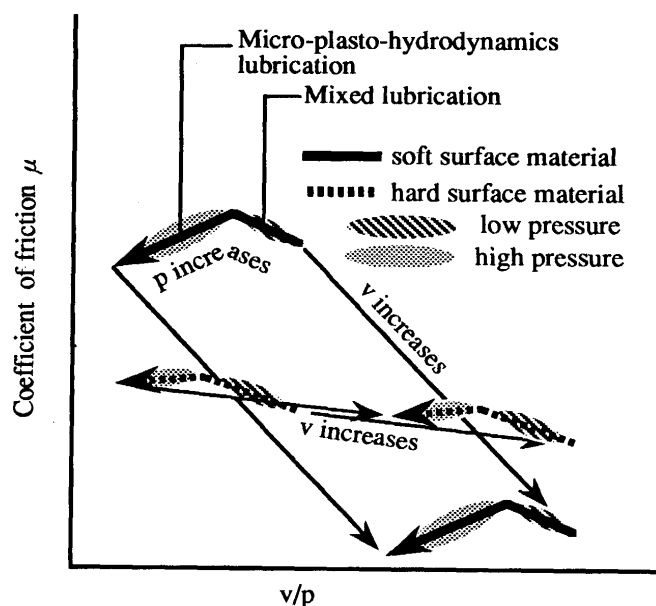


Fig. 6.19. Relationship between coefficient of friction and Stribeck parameter  $V/P$  (schematic diagram).  
 $V$ : Sliding speed,  $P$ : Normal pressure.  
 (J. Jpn. Soc. Technol. Plast., 34 (1993), No. 393, p. 1145)

Zn 系めっき鋼板が多く適用されている。純 Zn ( $\eta$  相) で構成される電気 Zn めっきや熔融 Zn めっき鋼板は、めっき層が軟質で延性があり、自由変形（工具の拘束のない状態での塑性変形、例えば伸び変形）における母材鋼板の変形に対するめっき層の追従性が良く、耐パウダリング性は良好である。ところが本鋼板は工具との摺動によってめっき層が工具に凝着しやすく、高い摺動抵抗による鋼板のビード部流入不足や耐フレーキング性が問題となりやすい。同様な問題は Fe 含有率の低い Zn-Fe 合金 ( $\delta$  相) が表面に多く存在する合金化熔融 Zn めっき鋼板 (GA) や、Ni 含有率の低い電気 Zn-Ni めっき鋼板でも起こることが知られている。

摩擦特性の解析にストライベック曲線がよく用いられる。表面が軟質な材料（電気 Zn めっき鋼板）と硬質な材料（上層 Fe めっき GA（二層型 GA））の摩擦特性を模式的に表したストライベック曲線を Fig. 6.19 に示す。通常摩擦特性は表面が硬質な材料が示すように、摺動速度の減少や接触面圧の上昇で、流体潤滑から混合潤滑に変化し摩擦係数が増加する。表面が軟質なめっきでは、高面圧、低摺動速度で摩擦係数が特に高く、また速度や面圧の変化で摩擦係数が大きく変化する。このような軟質めっきの摩擦特性が、プレス成形時の高い摺動抵抗の要因と考えられている。さらに軟質めっきでは高面圧下で摩擦係数が逆に低下する現象が認められ、めっき層が容易に塑性変形し、潤滑油のマイクロプールを形成する微視的塑性流体潤滑挙動を示すと考えられている。

Ni 含有率の高い電気 Zn-Ni めっき鋼板や、Fe 含有率の高い  $\delta_1$  および  $\Gamma$  相が多く存在する GA は、めっき層が比較的硬質である。これらの鋼板では、Fig. 6.19 に示すように面圧

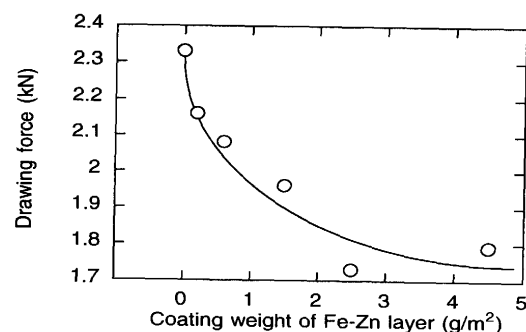


Fig. 6.20. Effect of upper Fe-Zn coating weight on drawing force in a draw bead test (normal load: 1.76 kN). (SAE Tech. Pap., No. 900509 (1990))

や摺動速度の影響を受けにくく、摩擦係数が低く一定で、摺動性や耐フレーキング性の問題が起きにくい。ところがめっき層が硬質であるため、自由変形時に母材変形に追従できず耐パウダリング性が問題となりやすい。

上述のようにこれらの特性は合金含有率、めっき相構成で変化することが知られており、電気 Zn-Ni めっきでは他の特性も考慮し、Ni 含有率を約 10~14% に制御し  $\gamma$  単相にすること、GA では  $\delta$ ,  $\Gamma$  の量を極力少なくする対策がとられている。

### (3) プレス成形性改善技術

GA の場合耐食性向上のため付着量を多くすると、相構成制御が困難で表面に軟質相が多くなりやすく摺動性改善を必要とした。そこで GA の上に後処理として電気めっき法により Fe 系めっき (Fe-Zn, または Fe-P) を施した二層型 GA が開発された。Fig. 6.20 に上層 Fe-Zn めっき付着量が GA の摺動性に及ぼす影響を示す。約 3 g/m<sup>2</sup> の付着量で、顕著にドロービード引抜き荷重が低減した。この効果は、Fe 系めっき層が硬質で低い摩擦係数を示すことや (Fig. 6.19 の硬質表面材)、金型/GA 間の凝着抑制作用によるものと考えられている。この上層 Fe 系めっき層は、プレス成形性以外に、電着塗装時の耐クレーター性を改善する効果もあり現在多く使用されている。

車体防錆鋼板として、上記のもの以外に 15  $\mu$ m 程度の有機被膜を塗装した鋼板が使用されていた。この鋼板は、厚い有機被膜により高い防食性能を有するが、プレス成形時に皮膜が剥離しやすく、成形後の手直し比率が非常に高い問題があった。

良好な耐食性を保持し成形時の被膜剥離を抑止するため、塗装の下地に電気 Zn-Ni めっき鋼板を適用し、上層の有機被膜を 15  $\mu$ m から約 1  $\mu$ m にした鋼板が開発された。ドロービード試験で被膜剥離量を評価した結果を Fig. 6.21 に示す。開発された 1  $\mu$ m タイプ (A) の剥離量は 15  $\mu$ m タイプ (ZPR) の約十分の一に低減された。この有機被膜の薄膜化はスポット溶接性の向上効果もあり、二層型 GA と同様多く使用されている。

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

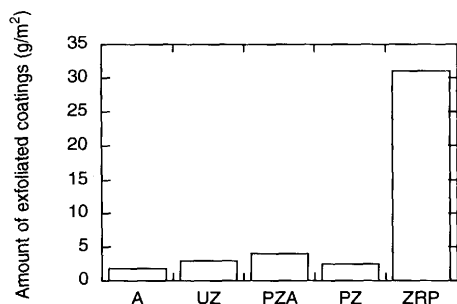


Fig. 6.21. Amount of exfoliated coatings of various pre-coated steel sheets after draw bead test.

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

A: New organic composite coated steel sheet,  $1 \times 10^{-6}$  m; UZ: Electrogalvanized steel sheet, 70 g/m<sup>2</sup>; PZA: Galvannealed steel sheet 60 g/m<sup>2</sup>; PZ: Hot dip galvanized steel sheet, 120 g/m<sup>2</sup>; ZRP: Zinc-rich painted steel sheet,  $1.5 \times 10^{-5}$  m.

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

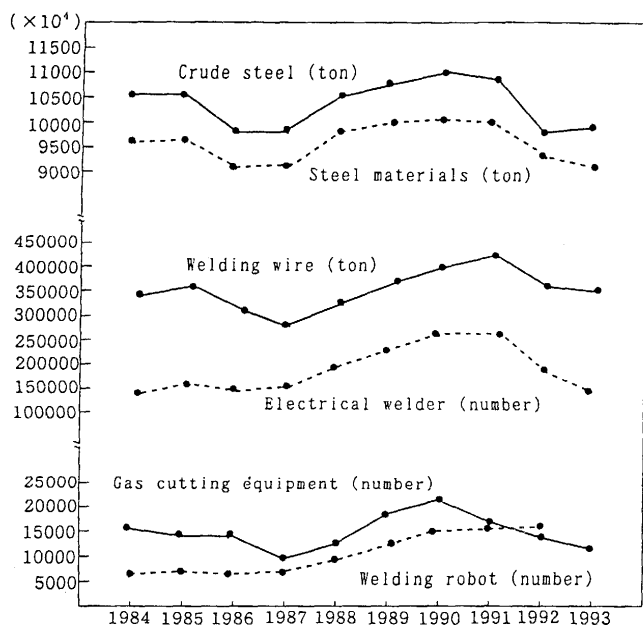


Fig. 6.22. Production change of welding materials during recent ten years. (*Weld. Tech.*, 42 (1994), No. 5, p. 102)

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