

論 文

UDC 621.983.019 : 669.58

表面処理鋼板のプレス成形における皮膜の耐加工性*

須藤 忠三**・中森 俊夫**・西原 実**

Behavior of Coating Films in Press Forming of Surface Treatment Steel Sheets

Chuzo SUDO, Toshio NAKAMORI, and Minoru NISHIHARA

Synopsis:

The behavior of coating films during the press forming are investigated on some kinds of surface treated steel sheets for autobody panels. It is observed that the plastic deformation causes the damages of the film such as the cracking or the flaking and the corrosion resistance decreases. The mechanisms of these phenomena are also systematically investigated.

It has been found that the flaking depends on the deformation modes such as a stretch forming or a shrink flanging and its dependency is unique to the type of the coating. "Flaking Limit-Strain Diagram" was presented for a expression of coating characteristics.

The decrease of corrosion resistance after forming is generally due to the loss of coating weight or the surface damage during the deformation. In the galvanized coating which has the sacrificial corrosion effect, the lowering of corrosion resistance is dominated by the loss of coating weight, and it is concluded that the severity of the forming can be evaluated by the reduction in thickness. In the paint coating, that lowering is mainly dominated by the cracking or the flaking of the film. In the material for this experiment, the severity is evaluated by the equivalent strain occurring on the surface.

1. 緒 言

防錆用表面処理鋼板の新しい用途として、自動車車体への適用が最近注目されてきている。直接のきつかけは北米地域などの高速道路で使用する凍結防止塩による車体の腐食対策にあることは、周知のとおりである。しかしそれにとどまらず、車体の耐食寿命向上は社会的要請でもあり、表面処理鋼板の使用は今後も拡大していくことが予想される。

自動車用として要求される材料の性能には幾つかあるが、重要なものの一つにプレス成形性がある。表面処理鋼板で特に問題となる要素としては、次の2点が考えられる。

(1) 表面潤滑性が一般の冷延鋼板と異なる。

このため、しわや形状不良などの挙動が変化し、金型面での配慮が必要になる場合もある。

(2) 加工により皮膜が損傷されやすい。

損傷とは、皮膜のはく離、き裂、傷付きなどで、耐食性劣化という性能上の問題と同時に、はく落した皮膜が

成形品に押し込み傷を作るなどの生産上のトラブルを起こしやすい。皮膜を損傷させる加工上の要因としては、材料の塑性変形あるいは材料と金型とのしゅう動が考えられる。

さらに、表面処理鋼板の製造工程によつては、従来の冷延鋼板ほど良好な母材特性が得にくい場合もあるが、適当な対策により改善できる。

以上のように、表面処理鋼板のプレス成形に関しては解明すべき多くの問題が残されているが、従来この方面の研究はあまりなされていない。著者らは、その中で最も基本的問題と思われる塑性変形に伴う皮膜損傷、特にはく離および耐食性劣化について実験的検討を行い、幾つかの知見を得たので報告する¹⁾²⁾。

2. 実 験 方 法

2.1 供試材

現在、自動車用に供される表面処理鋼板は、溶融亜鉛めつき、溶融合金化亜鉛めつき、電気亜鉛めつき、ジンクリッチペイント塗装鋼板（ジंकロメタル）が主体と

* 昭和 53 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 53 年 12 月 11 日受付 (Received Dec. 11, 1978)

** 住友金属工業(株)中央技術研究所 (Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-3 Nishinagahondori Amagasaki 660)

Table 1. Materials for experiment.

ID	Surface Treatment	Material	Coating Weight on One Side	Sheet Thickness	Tensile Properties			Remarks
					Y.P. $\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$	T.S. $\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$	El. %	
A	Hot Dip Galvanized	High Strength Al Killed	55 $\frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.8	48.3	64.0	28.3	
B	Hot Dip Galvanized	Rimmed	78 $\frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.8	28.1	36.7	36.3	Commercial Product
C	Electro Galvanized	Rimmed	20 $\frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.8	22.3	33.0	45.5	Commercial Product
D	Zincrich Paint Coated	Al Killed	Film Thickness 18 μ	0.8	26.5	31.2	42.8	Commercial Product
E	Galvannealed	Rimmed	60 $\frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.8	28.9	35.2	41.0	Alloying was performed experimentally in various conditions

Table 2. Forming Procedure for Flaking Test.

Strain Mode	Strain Ratio (ϵ_y/ϵ_x)	Forming Procedure	Remarks
Equi-Biaxial Stretching	about 1	100 mm dia. Punch Stretching	High Lubrication
Biaxial Stretching	about 0.5	100 mm dia. Punch Stretching	Nakazima Specimen (4)
Plane Strain	about 0	100 mm dia. Punch Stretching	Nakazima Specimen (4)
Uniaxial Tension	about -0.6	Tensile Test	JIS No. 5 Specimen
Shrink Flanging	about -1	100 mm dia. Flat Bottom-Cylindrical Shell Drawing and Its Redrawing	Polyethylene film was used for surface protection

なっている。本実験ではこの 4 種類の材料を用いた。Table 1 に供試材の内容、特性を示す。なお、ジンクリッチペイント塗装鋼板は、以後単に塗装鋼板と呼ぶことにする。

熔融亜鉛めっきのうち、供試材 A ははく離挙動をみる目的で、密着性を低下させるために母材材質、めっき条件を選び、センジマー連続めっきラインで試作したものである。供試材 B は通常の量産材で密着性は良好である。

合金化亜鉛めっきは、通常の熔融亜鉛のめっき材を連続熱処理実験炉を用いて、合金化処理を行った材料である。合金化処理条件によつて種々の特性の皮膜が得られるが、詳細は実験結果とあわせて述べる。

電気亜鉛めっき鋼板および塗装鋼板は一般的な市販材を用いた。

2.2 はく離試験法

通常ははく離試験として、材料を適当に変形させた後、スコッチテープでピーリングを行い判定している。本実験で用いた手法も基本的には同様である。しかし、従来行われている加工法は、エリクセン張出し、曲げなどが主体であるが、それだけではプレス成形全体を対象とす

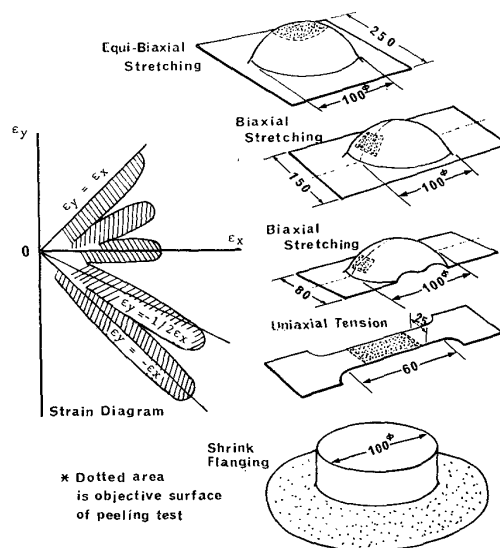


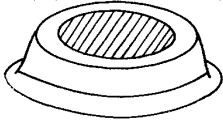
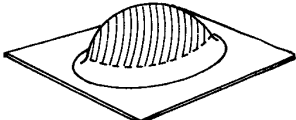
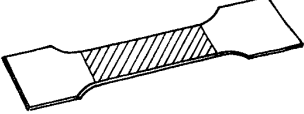
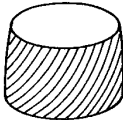
Fig. 1. Forming mode and strain diagram.

るには不十分であり、また実際の成形とも対応させるににくい。この観点から、ここでは必要十分な種類の成形法を選定し、かつその表現法を工夫した。

2.2.1 成形法

本実験で用いた成形法を Table 2 および Fig. 1 に示

Table 3. Forming procedure for testing of corrosion resistance after forming.

Strain Mode	Strain Ratio (ϵ_y/ϵ_x)	Forming Procedure	Illustration
Equi-Biaxial Stretching	1.0	200 mm dia Flat Bottom - Punch Stretching	
Biaxial Stretching	about 0.8~1.0	100 mm dia Hydraulic Bulge Test	
Uniaxial Tension	about -0.6	Tensile Test	
Shrink Flanging	about -1	200 mm dia. Cylindrical Drawing	

す。縮みフランジ変形としては、溶融亜鉛めつきに対しては変形量を大きくとるために再絞り加工を行ったが、合金化亜鉛めつき、塗装皮膜については1回絞りで評価した。それぞれの成形の実験対象部位のひずみ状態を、Fig. 1 に示すように面内の最大主ひずみ ϵ_x と最小主ひずみ ϵ_y を座標軸とするいわゆるひずみ状態図⁹⁾ で表示し、それによつて皮膜の挙動を検討した。

なお、深絞り成形の場合は板と型の摩擦による皮膜損傷を防ぐために、皮膜にポリエチレン膜をはり付けて成形した。

2.2.2 ピーリングテスト

成形品の一つの断面について、表面のピーリングテストを行ない、はく離の有無を観察した。部位によつてひずみが異なるので、部位別にひずみとはく離の有無を対応させ、この操作を各種の成形法およびひずみ量（成形深さで変化させる）について実施すれば、ひずみ状態図上ではく離領域やはく離限界が決定できる。

なお、ひずみ量 (ϵ_x , ϵ_y) の測定には 6.35 mmφ のいわゆるスクライブドサークルを用いた。

2.3 加工後耐食性の試験方法

基本的には、幾つかの加工法で変形を与えた試験片を腐食試験にかけ、その挙動を調査するのであるが、試験片としては比較的広い面積でひずみが均一であることが必要である。このため、Table 3 に示すようにはく離試験とは多少異なる加工法を採用した。

円筒深絞り成形および液圧バルジ成形されたものは成形品をそのまま腐食試験にかけた。この場合、部位によ

つてひずみ量が異なるので、試験対象面積の中での平均ひずみを求め、それによつてその試験片の変形量を代表させた。このように結果の解析に関してかなり大胆に簡略化したが、腐食試験自体の精度を考慮すれば、加工後耐食性の全般的な傾向を把握するにはさしつかえないと考えられる。

腐食試験法には路上の凍結防止塩による腐食環境を考慮して、JIS 塩水噴霧試験を用いた。耐食性の指標としては、本実験の目的が皮膜の地鉄に対する防食効果の検討にあるので、赤錆の発生挙動を対象とした。ただし、合金化皮膜は皮膜自体が赤錆状となるため地鉄の錆と区別しにくい。また、塩水噴霧のような腐食環境下では合金化皮膜は塗装して初めて耐食性が出てくるので⁶⁾、皮膜単独での評価はあまり意味がない点も考えて、検討からははずした。

なお、溶融亜鉛めつきの供試材としては、耐はく離性の良好なB材を用い、はく離のない状態で試験した。

3. 実験結果

3.1 はく離限界ひずみ

各種表面皮膜のはく離限界を Fig. 2~ Fig. 5 に示す。皮膜の種類によつて変形様式依存性にはつきりした特徴が認められる。はく離限界のレベルが総合的な耐はく離性能の指標になるが、当然母材の破断限界まではく離しなければ全く問題はない。

これらの図の中に実際のプレス成形品のひずみを導入することができ、それによつてはく離からみた成形の厳

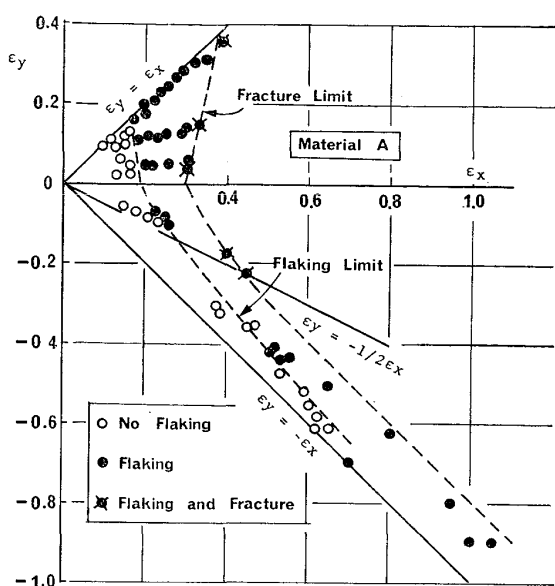


Fig. 2. Flaking-strain diagram of hot-dip galvanized steel sheet.

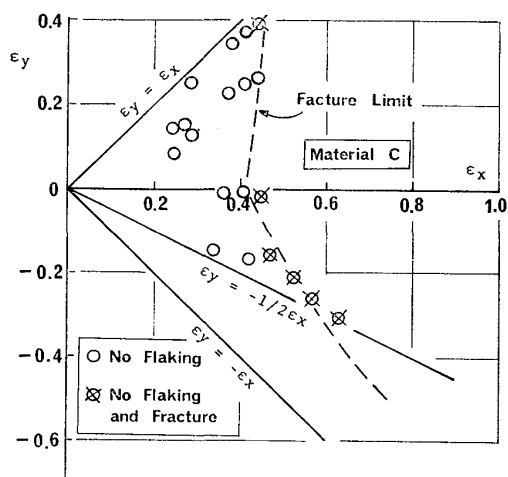


Fig. 3. Flaking-strain diagram of electro galvanized steel sheet.

しさが判断できる。また同一種類の皮膜の中での相対的な性能評価のためには、それぞれに応じた適切な成形法(変形様式)の存在することが明らかである。

3.1.1 溶融亜鉛めつき (Fig. 2).

張出し変形域(特に等2軸引張)にはく離が発生しやすいが、縮みフランジ変形ではかなりの大変形まではく離は認められなかった。すなわち、このタイプの皮膜は圧縮変形に強い傾向がある。したがって耐はく離性の評価には、等2軸引張変形が適当である。一般にはく離試験によく用いられる曲げ試験の変形は Fig. 2 では ϵ_x 軸上に相当し、張出し変形域にはあるが等2軸変形に比してはく離検出力はやや劣るといえる。

供試材Bの場合はどの変形様式でもはく離は認められなかった。さらに一般のリムド鋼板を母材とする市販の

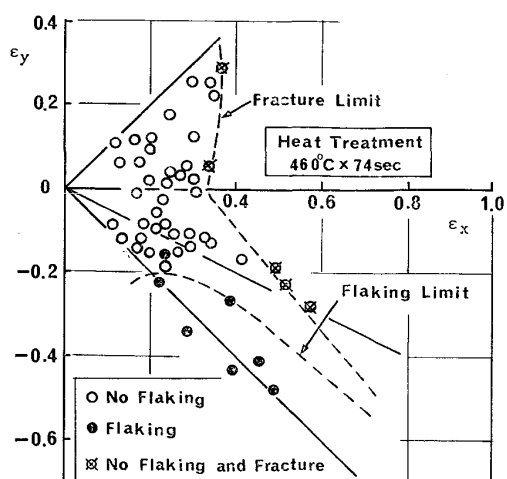


Fig. 4. Flaking-strain diagram of galvanized steel sheet (Fe content of surface layer: 13.4 weight %).

溶融亜鉛めつきを多数調査してみたが、いずれもはく離はほとんど認められなかった。このことは溶融亜鉛めつきのはく離が母材材質と密接な関係があることを示している。ただし、本研究では自動車用の薄目付めつきが対象となつてはいるが、めつき膜厚自体はく離に深い関係があると考えられ、本実験手法を厚目付領域に適用するのは興味ある問題と思われる。

なお、縮みフランジ変形に関して補足すると、Fig. 2 は深絞り側壁部を対象としたので、ダイス肩での曲げ、曲げもどし変形が付加された状態での結果になる。はく離限界が純粋な縮みフランジ変形 ($\epsilon_y = -\epsilon_x$) よりやや張出し側にあることからみて、ダイス肩での変形がはく離を誘発していることが考えられる。ダイス肩での変形の影響は竹添⁶⁾も指摘している。したがって、実用的には曲げも含めた解析が妥当であり、またはく離挙動の基本的特徴は Fig. 2 で十分知ることができる。

3.1.2 電気亜鉛めつき (Fig. 3)

本供試材でははく離は全く認められなかった。さらに通常の市販材を多数調査したが、同様の結果であつた。したがって、実用上電気亜鉛めつきのはく離は考慮する必要はないと考えられ、以後の検討からははずした。

3.1.3 合金化亜鉛めつき (Fig. 4)

亜鉛めつきとは逆に、張出し変形でははく離がなく、縮みフランジ変形ではく離しやすい。すなわち、圧縮変形に弱いのが特徴である。したがって、このタイプの皮膜の評価には縮みフランジ変形(深絞り成形)が適当である。

3.1.4 塗装鋼板 (Fig. 5)

変形領域全域ではく離が観察され、はく離限界も低い。特に、等2軸引張と縮みフランジ変形ではく離が

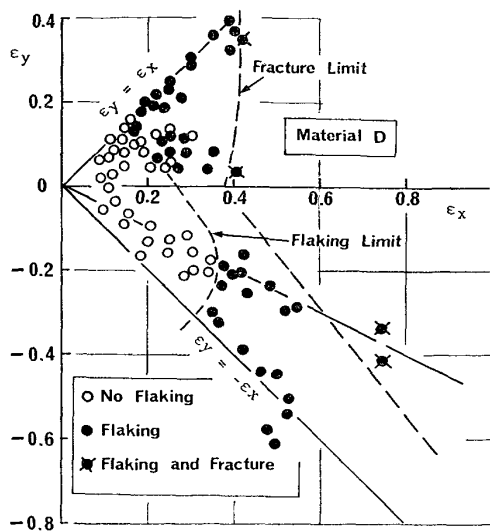


Fig. 5. Flaking-strain diagram of zincrich paint coated steel sheet.

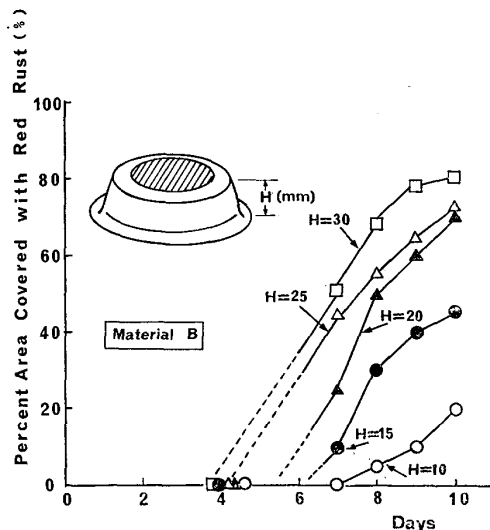


Fig. 6. Growth of red rust after equi-biaxial stretching in galvanized steel sheet.

目立ち、この2種類の変形が塗装皮膜の評価に適當である。

3.2 加工後耐食性

3.2.1 亜鉛めつき皮膜

Fig. 6 は比較的良い精度で実験できる等2軸引張変形について、赤錆発生挙動を調査した例である。ある一定時間内では赤錆発生がなく、それを越えると急激に赤錆が成長するのが亜鉛めつき皮膜の特徴である。これは亜鉛の犠牲防食作用による現象であり、赤錆発生時間が基本的には亜鉛付着量に支配されることは容易に理解される。

加工による劣化の特徴は赤錆発生時間が短縮される点にあり、この傾向は溶融めつき、電気めつきに共通であ

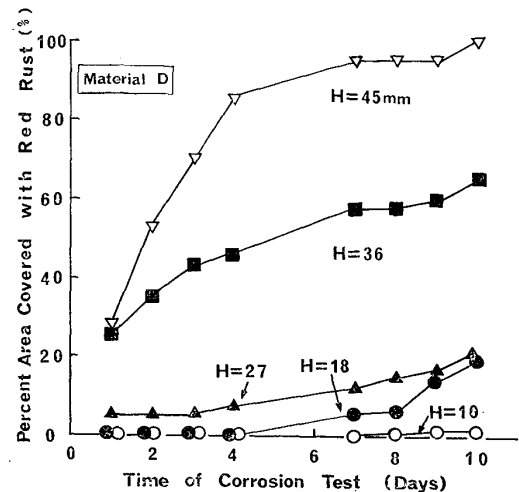


Fig. 7. Growth of red rust after equi-biaxial stretching in zincrich paint coated steel sheet.

つた。このことはしたがって、加工による付着量減少が耐食性劣化の主因といえる。

3.2.2 塗装皮膜

Fig. 7 に示すように、未加工状態では耐食性はきわめて良好である。加工を受けると、少量の赤錆が短時間で発生するがその成長は遅い。加工の影響は、この初期発錆量の大きさに関係するようである。はく離限界より低いひずみで発錆がみられることも注目される。

4. 考 察

4.1 溶融亜鉛めつきのはく離機構

地鉄と Zn 層の間に極く薄い合金層が存在するが、観察結果でははく離は Zn 層と合金層の境界に生じているようである。張出し変形および縮みフランジ変形を受けた皮膜の状況を観察した一例を Photo. 1 に示す。なお、ここでは変形様式による相違を明確にするために、縮みフランジ変形としてはフランジ部（ダイス肩での曲げがない）から試験片を採取した。そのためひずみ比は -1 よりも小さくなっている。

張出し変形ではかなり低いひずみでき裂がはいり、それが拡大しはく離につながっていく様子がうかがえる。縮みフランジ変形でもき裂は観察されるが、その発達は遅いようである。以上の事実から、はく離機構としては次のように理解できる。

張出し変形において材料が伸びていく過程で皮膜にき裂がはいると、皮膜の伸びと地鉄の伸びが異なるため、界面はせん断変形を受ける。そのため密着力が低下し、はく離しやすくなると想像される。縮みフランジ変形の場合は静水圧成分が大きいので、Zn のような金属皮膜は延性が向上し、あるいはき裂があつても発達しにくい

Cross Section of Surface Layer		Strain		Flaking of Film
		ϵ_x	ϵ_y	
Virgin	Zn	Virgin Sheet		—
	Fe			
Stretching		0.08	0.08	Not Occured
		0.16	0.16	Not Occured
		0.21	0.21	Occured
		0.25	0.25	Occured
Shrink Flanging		0.10	-0.13	Not Occured
		0.22	-0.24	Not Occured
		0.28	-0.32	Not Occured
		0.33	-0.44	Not Occured

Photo. 1. Observation of surface layer after forming in hot-dip galvanized steel sheet.

ため、はく離が起こりにくい。

また、スパンの大きな溶融亜鉛めつきを成形すると、特定のスパンにき裂が生じ、同時にそこではく離が起こることがある。これは各スパンの結晶方位の差による延性の相違が原因と考えられるが、き裂とはく離の関連を示唆する現象といえよう。

4.2 合金化亜鉛めつきのはく離機構

これは亜鉛めつきに熱拡散処理を施し、全層を Fe-Zn 合金にしたものである⁷⁾。したがって、皮膜の基本的特性として、密着性は良好であるがもろいといえる。

このタイプの皮膜に張出しのような伸び変形を与えると、き裂が生じるがはく離は起こりにくい。縮みフランジ変形のような縮み変形を加えた場合は、き裂の発生、成長が少ないため変形をき裂で吸収することができず、皮膜の塑性変形が必要になる。この結果、もろい皮膜がいわば破碎されてはく離することが考えられる。

皮膜物性とはく離挙動との関係を確認する意味で、密着性の劣る溶融亜鉛めつき(供試材 A)を合金化処理し、両者の比較をしてみた。結果を Fig. 8 に示す。亜鉛めつきの状態では張出し域ではく離が認められたが、合金化によつてなくなると同時に縮みフランジ変形ではく離するようになる。このことから、密着性が低いと張出し域で、皮膜延性が低いと縮み変形ではく離が起こると結論するのは自然な解釈であろう。

以上の検討から、縮み変形におけるはく離は皮膜の表層部で生じ、密着性が良好であるから、はく離後も皮膜

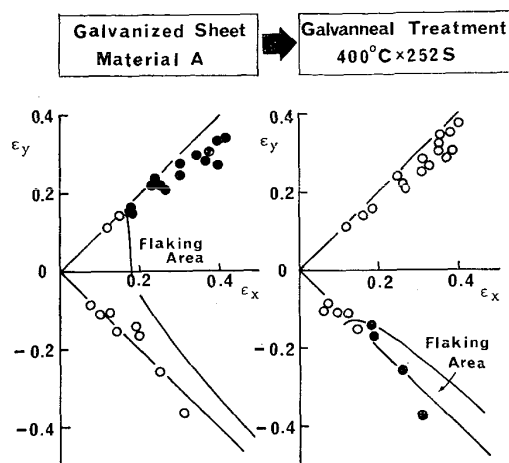


Fig. 8. Comparison of flaking behavior of galvanized sheet and galvanized sheet.

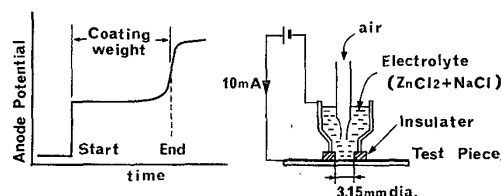


Fig. 9. Apparatus of anode electrolysis for measurement of coating weight in small area.

が残存すると考えられる。この点を検討するために、変形後の残存皮膜量を測定してみた。

皮膜量の測定は、Fig. 9 に示す陽極電解法により、皮膜の溶解時間から膜厚を求めた。成形は円筒深絞りフランジ部を対象とし、フランジ上の部位および成形深さによつて異なる変形量を得た。

変形量として ϵ_x をとり、変形後の膜厚との関係をみた代表例を Fig. 10 に示す。ひずみの小さい段階では目立つた膜厚減少は認められないが、ピーリングテストでは軽微な付着物がテープ上に観察されることが多い。これは最表層部にはく離しやすい薄膜が存在することを示すが、成形上実質的な有害性は少ないと思われるので、本研究の対象にはしなかった。

ひずみがさらに増大すると、ある点で急激な膜厚減少が起こり、Fig. 10 では全膜厚の 60% 程度がはく落することがわかる。そこで、このときのひずみ量をはく離限界ひずみと定義するのが適当である。はく離限界ひずみは合金化処理条件によつてかなり異なるが、この点は後に詳述する。

ひずみ量をさらに増大させると、膜厚減少がほとんど進行しなくなり残存膜厚が一定になる傾向がある。この残存膜厚について、加工前の膜厚および合金化処理条件を変えて調査してみたが、明確な傾向は見出せず、今後

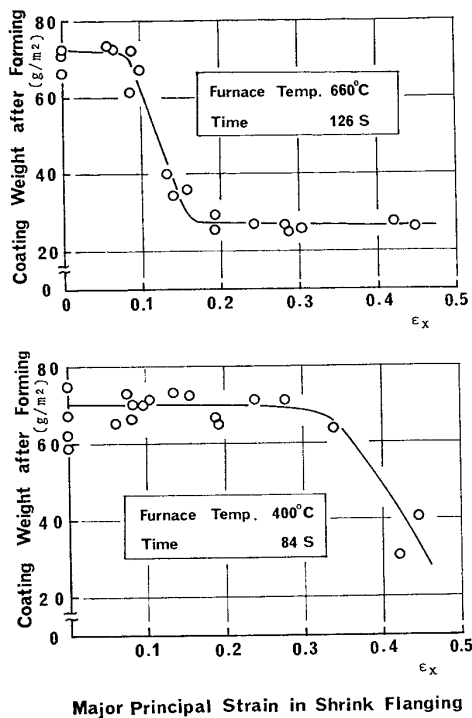


Fig. 10. Flaking behavior of galvanized sheet.

の検討課題として残された。しかし、この領域はそのままでは離量が多すぎてプレス作業上有害であり、実用上の意義は少ないと考えられる。

いずれにしても、合金化皮膜のはく離が皮膜内部で起こっていることは明らかである。

4.3 合金化亜鉛めつきの皮膜組成と耐はく離性

合金化皮膜の特徴と言える縮み変形ではく離に対しては、皮膜の延性を向上させるのが有効である。延性は合金組成によつて異なり、 δ_1 組成 (FeZn_7) がよいとされている⁸⁾が、実際にどの程度の耐はく離性が得られるかはつきりしなかつたので検討を行った。

合金化皮膜はほぼ Fe-Zn 2 元系と考えられるので、その組成は浸漬電位に対応する。Fig. 11 は種々の合金化条件について両者の関係を求めた結果で、浸漬電位と皮膜 Fe 濃度に直線的関係のあることがわかる。ここで、Fe 濃度は X 線回折および化学分析で同定した。浸漬電位は 1 mol ZnSO_4 溶液中の Zn に対する値で、 0 mV を Zn の電位とし、数値が増加するほど合金化が進んでいることを意味する。

Fig. 12 は浸漬電位と耐はく離性の関係を測定した結果である。 90 mV 前後を境にしてはく離限界ひずみに急激な変化があり、低電位側すなわち合金化度の少ない領域がすぐれていることがわかる。Fig. 11 と対比させてみると、Fe 濃度が 10% 前後が良好であり、ほぼ δ_1 単相組織になっていると推定される。電位が $90 \sim 150$

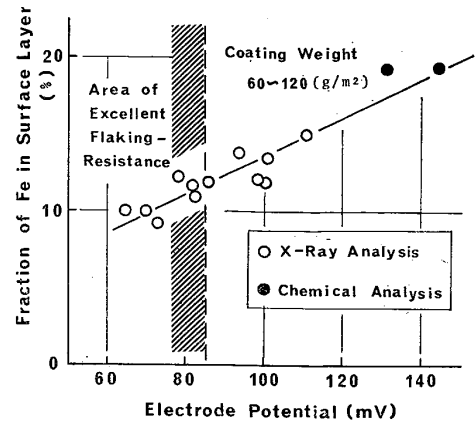


Fig. 11. Relation between composition and electrode potential (vs. Zn) of surface layer of galvanized sheet.

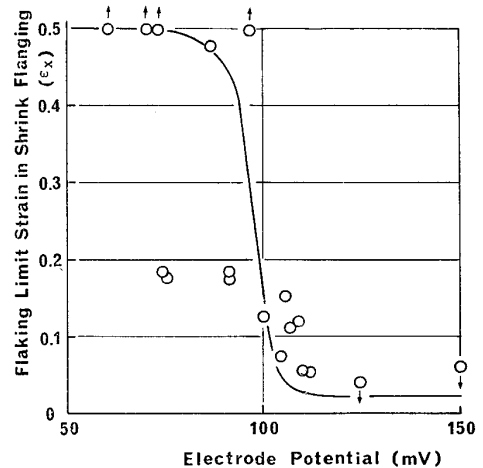


Fig. 12. Relation between flaking limit strain and electrode potential (vs. Zn) of galvanized sheet.

mV の範囲は δ_1 組成と Γ 組成 (FeZn_{10}) の混合組織と考えられるが、一般に Γ 相はもろいとされることから、 Γ 相の混入が耐はく離性劣化の原因と解釈できる。

δ_1 単相組織のはく離限界ひずみは ϵ_x で $0.4 \sim 0.5$ 前後となつてはいるが、これは実験に用いた円筒深絞りで加わるひずみのほぼ上限である。多くの場合、自動車部品ではこの程度の加工に耐えれば十分といえる。しかし、角筒深絞りや再絞り加工では、さらに大きな縮みフランジ変形が加わるので、このような用途に対する性能はさらに検討する必要がある。

4.4 塗装皮膜のはく離について

このタイプの皮膜は、張出し域、深絞り域とも比較的小さなひずみではく離する。はく離機構としてめつき系皮膜と同様に、密着性と皮膜延性から説明することも部分的には可能である。しかし、この皮膜には多量の Zn 粒子が含まれており、これが加工で脱落している可能性

を無視できない。

一般に、高加工度ではベースとなるエポキシ樹脂がはく離して、地鉄が露出していることが明らかに観察される。しかし、低加工度の場合、皮膜の上からフェロキシル液を塗付し地鉄との発色反応をみても、発色はあまり認められなかった。このことから、単に Zn 粒子が脱落している可能性が考えられる。

このように、多量の固体粒子を含む塗膜のはく離挙動はめつき系皮膜と同一に論じることがむずかしく、詳細に今後の検討課題として残された。

本実験では、粘着テープ上への付着物の有無によつてはく離を定義したわけであるが、付着物が Zn 粒子にせよ、ベース樹脂にせよはく離は耐食性劣化に反映される。その意味で皮膜性能の指標となるものと考えられる。

4.5 亜鉛めつき皮膜の加工後耐食性

加工による亜鉛付着量の減少が耐食性劣化の主因と考えられるので、両者の定量的関係を考察する。

塑性変形により一般に板の表面積は変化するが、亜鉛付着総量は一定であるから単位面積当たりの亜鉛付着量は変化する。面内主ひずみ ϵ_x , ϵ_y が与えられると表面積は (1) 式で計算される。

$$S = S_0 \exp(\epsilon_x + \epsilon_y) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 S , S_0 はそれぞれ加工後、加工前の表面積である。

したがって、加工による亜鉛付着量の変動は (2) 式で表わされる。

$$m = m_0 \exp(-\epsilon_x - \epsilon_y) = m_0 \exp(\epsilon_t) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 m , m_0 はそれぞれ加工後、加工前の亜鉛付着量、また ϵ_t は板厚ひずみである。

耐食性指標として赤錆面積率が 50% になる時間と (2) 式で求めた加工後亜鉛付着量との関係をみたところ、Fig. 13 を得た。加工前の付着量の差 (溶融めつきと電気めつきの差)、加工法の相違を含め、一次近似として亜鉛付着量が耐食性の支配因子といえる。したがって加工度の評価指標は板厚ひずみになる。

板厚ひずみは加工法によつてかなり異なり、例えば縮みフランジ変形では板厚ひずみが小さいので耐食性の劣化が少ないことを指摘しておきたい。この点は実験的に確認される。

Fig. 13 の結果から、加工によつて生じる皮膜のき裂があまり大きな影響を与えていないことがうかがえる。亜鉛付着量が少なくかつ赤錆発生率の小さい領域での実験では、き裂が影響するとの見解も報告されているが⁹⁾、本実験のように Zn による犠牲防食効果が十分期待できる状況においては、き裂の影響は現われにくいとみても

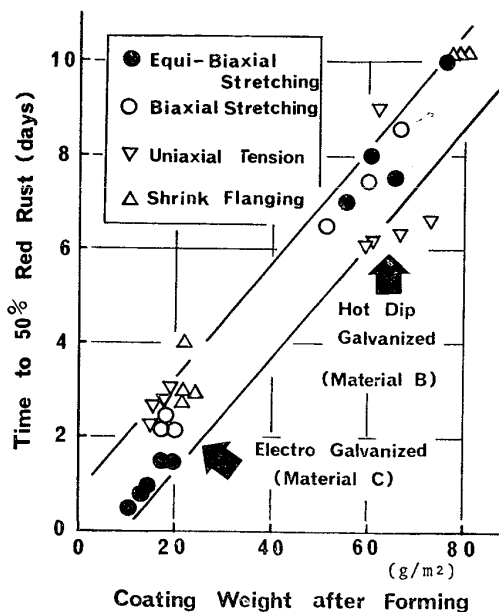


Fig. 13. Corrosion resistance of formed surface in galvanized steel sheet.

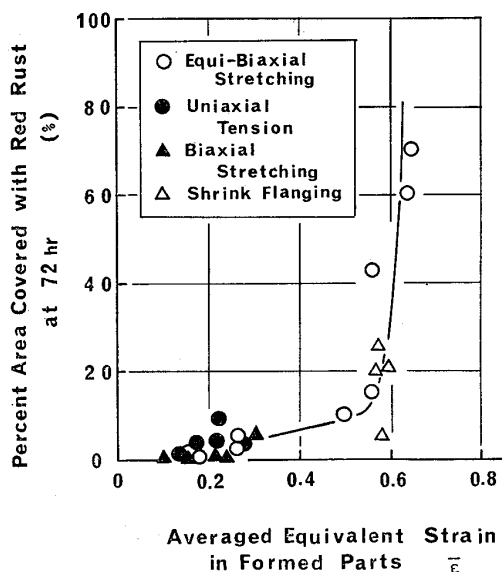


Fig. 14. Corrosion resistance of formed surface in zincrich paint coated steel sheet.

大きな誤まりはないと考えられる。

4.6 塗装皮膜の加工後耐食性

塗膜の耐食性の加工劣化機構としては次のように推測される。すなわち、加工によりはく離に先立つてまず塗膜にき裂が生じるが、亜鉛めつきとは異なり犠牲防食効果が少ないのでき裂の部分では早期に赤錆が発生する。しかし、塗膜で被覆されている部分は塗膜自体の強い防錆力のため長時間保護され、したがって初期赤錆の成長が抑制される。はく離が開始しても初めのうちははく離量が少ないためこの傾向は続くが加工がさらに進むとはく離量が急激に増大し、耐食性はすみやかに失われる

ことになる。

そこで、耐食性の評価指標としてはある一定時間での発錆量を用いるのが適当と考えられる。Fig. 14 は 72h における赤錆面積率と加工度との関係を調べた結果で、一応相当ひずみで整理できた。ここで相当ひずみ $\bar{\epsilon}$ は試験対象部の平均主ひずみ ϵ_{xm} , ϵ_{ym} の測定値から、(3) 式により等方性材料として計算した。

$$\bar{\epsilon} = (2/\sqrt{3}) \cdot \sqrt{\epsilon_{xm}^2 + \epsilon_{xm}\epsilon_{ym} + \epsilon_{ym}^2} \dots\dots\dots (3)$$

Fig. 5 に示したはく離限界は、(3) 式を $\epsilon_x - \epsilon_y$ 平面に表現してみれば明らかであるが、相当ひずみ一定という条件に近い形となっており、加工後耐食性とはく離がいずれも相当ひずみに支配されているとみることができ。このことは塗膜の防食機構からみて塗膜損傷が直接赤錆発生に結びつくと考えれば理解できる。しかしながら、皮膜損傷は皮膜物性に強く依存するので、相当ひずみによる整理が一般的に可能かどうかは検討の余地がある。

5. 結 言

自動車用表面処理鋼板のプレス成形に関して、特に塑性変形による皮膜損傷および耐食性劣化を検討し、その挙動を明らかにした。

まず、皮膜のはく離現象を調査し次の結論を得た。

1) はく離は塑性ひずみが大きくなると発生し、ひずみ状態図上にはく離限界を設定することができる。これは、実際のプレス成形との対応において総合的に耐はく離性を評価する新しい手法と考えられる。

2) 皮膜の種類によつて、はく離に対する変形様式依存性に著しい特徴が認められ、これは同時にはく離機構の相違に関連することが明らかになった。したがって同一系統の皮膜の評価には、その特性に応じた加工法を用いる必要があり、また有効であつた。

3) 溶融亜鉛めっきのはく離は張出し域で起こりやすいが縮みフランジ変形ではく離しにくい。これは、張出し変形で皮膜にき裂が発生、成長するために、地鉄との界面にせん断変形が生じ、密着力が弱まるためと解釈される。

4) 合金化亜鉛めっきは、張出し域ではく離は認められなかつたが、縮みフランジ変形ではく離しやすい。これは皮膜の密着力が強いために張出し変形に強い反面、皮膜がもろいために圧縮変形でいわば破碎されるためと考えられる。

この種のはく離は皮膜内部で起こるため、はく離後も

皮膜の一部が地鉄に残存する。

5) 合金化亜鉛めっきの耐はく離性の向上には、延性の高い合金組成を生成させるのが有効であり、Fe 濃度 10% 前後のいわゆる δ_1 組成が良好な性質を示すことが確認された。

6) ジンクリッチ塗装皮膜は張出し変形、縮みフランジ変形ともにはく離が生じ、外見上は亜鉛めっきと合金化亜鉛めっきの中間的特性を示す。しかし、この場合は塗膜中の亜鉛粒子の脱落など複雑な要因を含みそのはく離機構に関してはさらに検討が必要である。

次に、加工後の耐食性劣化に関しては次の結論を得た。

7) 亜鉛めっきは、犠牲防食効果のため皮膜のき裂は耐食性に大きな影響を与えないようである。したがって加工の影響は基本的には表面積増大による亜鉛付着量の減少、いいかえれば板厚ひずみで評価される。耐食性の劣化は発錆までの寿命短縮として現われる。

8) 塗装皮膜の耐食性は加工による塗膜損傷に直接影響される。発錆は塗膜損傷部のみに現われ、加工により損傷面積が増大し、発錆面積が拡大するのが特徴である。本実験では、加工度として相当ひずみで整理できたが、その一般性はさらに検討の余地がある。

以上のように、本研究では表面処理鋼板のプレス成形を対象とし、皮膜の基本的挙動について体系的な整理を試みた。しかし、プレス成形には解明すべき多くの問題があり、今後さらに検討を進めていく必要がある。

文 献

- 1) 西原 実, 須藤忠三: 金属表面技術協会講演論文集 (1976), p. 110
- 2) 須藤忠三, 中森俊夫: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, p. 304
- 3) たとえば, K. YOSHIDA, K. ABE, K. MIYAUCHI, and T. NAKAGAWA: La Metallurgia Italiana (Proc. 5thIDDRG Congress) (1968) 8, p. 685
- 4) 中島浩衛: 塑性と加工, 11 (1970) 109, p. 112
- 5) 重松博行, 西原 実, 小池正夫, 土谷義治, 広田政一: 57回金属表面技術協会講演論文集 (1978), p. 12
- 6) 竹添明信, 川瀬尚男: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, p. 407, p. 408
- 7) たとえば, 吉田勝可, 東 光郎, 北島之夫: 鉛と亜鉛 (1970) 37, p. 1
- 8) 勝山 隆: 溶融亜鉛めっき (1965), p. 4 [理工図書]
- 9) 竹添明信, 小沢弘典: 鉄と鋼, 62 (1976) 11, p. 212