

合金化溶融亜鉛めっき鋼板のビード引抜き時の皮膜剥離に及ぼす合金化条件の影響

中森俊夫*・坂根 正*・須藤忠三*²・澁谷敦義*²

Effects of Galvannealing Conditions on Anti-exfoliation Properties of Galvannealed Coating in Bead-drawing

Toshio NAKAMORI, Tadashi SAKANE, Chuzoh SUDOH and Atuyoshi SHIBUYA

Synopsis :

Anti-exfoliation properties of galvannealed coatings on extra low carbon Ti-added steel galvannealed under various heating conditions were investigated by using a bead-drawing test, and the result was compared with that of a cylindrical cupping test and an adhesive-bonding tensile test.

Exfoliation amounts in the bead-drawing test are not necessarily correlated with those in the cupping test : regarding ζ -rich coatings, significant discrepancy between exfoliation amounts in the bead-drawing test and those of the cupping test was observed, and exfoliation amounts in the bead drawing test were larger than expected values deduced from the result in the cupping test. ζ -rich coatings are subject to coating exfoliation at coating/steel boundary in the bead drawing test as well as in the adhesive-bonding tensile test. It was thought that the deterioration of exfoliation resistance of ζ -rich coatings is attributable to high frictional coefficient and relatively poor coating adhesion at coating/steel boundary. Coating adhesion of ζ -rich coatings to steel substrate is improved by eliminating ζ -phase by means of galvannealing at temperatures below 500°C.

Coating adhesion of δ_1 -rich ones galvannealed above 550°C was proved very poor in both the bead-drawing test and the cupping test ; in both cases, exfoliation of this type coatings seems to be caused by bending-unbending deformation.

Key words : galvannealed steel sheet ; extra low-carbon steel ; formability ; bead-drawing test ; coating-exfoliation ; Zn-Fe alloy.

1. 緒 言

近年、自動車車体に対する合金化溶融亜鉛めっき鋼板(以下 GA)の使用が増加傾向にあり、かつ従来よりもめっき付着量の多いいわゆる厚目付け材の使用が開始されたこともあってその皮膜の加工性に関する研究が数多く報告されている^{1)~4)}。

GA 皮膜の加工性に関しては、従来から摺動過程よりも圧縮変形過程での脆弱さが指摘されてきた⁵⁾。圧縮変形での皮膜の加工性の評価を主眼においた円筒絞り試験あるいは曲げ試験での GA 皮膜剥離に関しては、過去に多く報告されており²⁾³⁾⁶⁾⁷⁾、合金化温度の低下、皮膜組成の低 Fe 化、めっき付着量の削減により低減できることが知られている。このことは、圧縮変形下での皮膜の加工性を確保するには、厚目付け材の場合必然的に従来よりも Fe 濃度の低い皮膜が要求されることを意味す

る。

しかし、皮膜 Fe 濃度のやや低い厚目付け材を実際にプレス加工すると、摺動要素の強い部位でフレーキングと呼ばれる片状の皮膜剥離が生じる場合があり⁸⁾⁹⁾、その現象は圧縮変形で生じるパウダリングと呼ばれる粉状の剥離と様相が大きく異なる。摺動による皮膜剥離に関しては、最近のいくつかの報告があるが¹⁾⁴⁾⁸⁾⁹⁾、合金化条件・皮膜構造の点から論述したものは非常に少ない¹⁰⁾¹¹⁾。

本研究では、自動車用鋼板として比較的大量に用いられている極低炭素 Ti 添加鋼 GA を対象に、比較的摺動要素の大きいドロビーボード試験での剥離量について合金化温度の影響を調査し、円筒絞り試験での結果との相関性を検討、めっき皮膜の構造の観点から考察した。本研究では、特にドロビーボードにおける剥離現象に関してめっき皮膜/鋼の界面密着性に着目して考察した。

平成元年 10 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 11 月 8 日受付 (Received Nov. 8, 1990)

* 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-8 Fuso-cho Amagasaki 660)

*² 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 工博 (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

2. 実験方法

実機（浴組成：0.15% Al, 0.03% Fe, 浴温 465°C, 侵入温度 460°C）で製造された板厚 0.8 mm の極低炭素 Ti 添加鋼の溶融亜鉛めっき鋼板を実験室で合金化処理し供試素材とした。鋼成分を Table 1 に示す。めっき付着量は 58 g/m²/side（標準偏差 3.6 g/m²）、皮膜中 Fe 量 0.48 g/m²、皮膜中 Al 濃度 0.33% である。

合金化処理は塩浴（東洋電熱(株)製 M5-G）を用い 450, 500, 550°C（420°C 以上での平均昇温速度はおのおの 15, 11, 6°C/s）で実施した。合金化処理した試料は約 1 s 30°C/s で放冷後約水中にクエンチした。皮膜加工性の評価試験として円筒絞りにより剥離量と成形荷重を、ドロビーボード試験により剥離量を、変形パウデン法¹²⁾により摩擦係数を測定した。これらの試験では潤滑油として共通の防錆油（鉍油系、動粘度 15 cSt [40°C]）を使用した。また接着剤を用いた剪断引張試験から界面密着力の定性的評価を試みた。皮膜確性に関しては化学分析、X 線回折、EDAX 等を行い、また合金化に伴う α -Fe 粒界の変化についても調査した。

円筒絞り試験は素板径 60 mm ϕ で Fig. 1 に示す工具を用いて絞り抜きを行った。最初に試験片を 1.1.1.トリクロロエタンで蒸気脱脂しブランク重量を測定、次いで防錆油を塗布後成形し、再度蒸気脱脂する。最後にテーピングを行って成形品の重量を測定し、初期重量との差を剥離量とした。

ドロビーボード試験法の概要を Fig. 2 に示す。0.5 mm R の V 字形ビードを有するダイと溝側ダイをフレームに固定、裏面を研磨した幅 25 mm 長さ 215 mm の試験

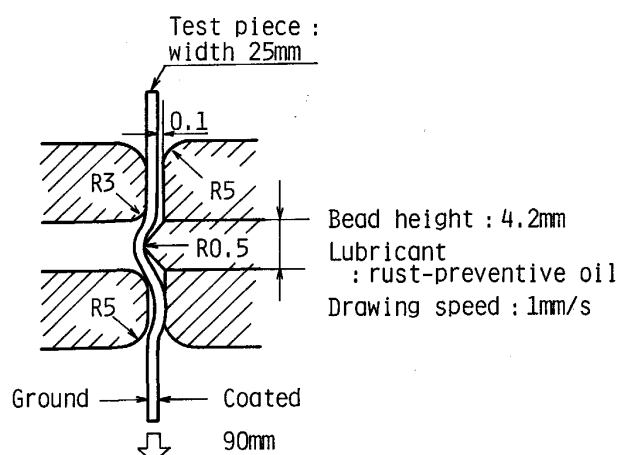


Fig. 2. Rig of bead-drawing.

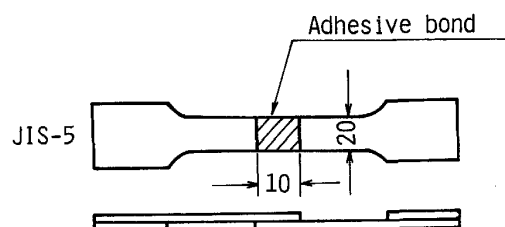


Fig. 3. Shape and dimensions of test piece adhesive-bonded for tensile test.

片を長さ 90 mm 引き抜いた。入側で試料めっき面とビード側ダイの摺動のないようにすきま 0.1 mm で取り付けた。剥離量は円筒絞りと同様、重量法により評価した。

接着剤による貼合せ剪断引張試験片の形状を Fig. 3 に示す。接着剤はコニシ(株)製の CYBOND を接着層厚み約 3 μ m で用いた。引張試験は東洋精機(株)製 2 t 引張試験機を用い、23°C で 50 mm/min の速度で行った。

3. 結 果

3.1 円筒絞り試験

Fig. 4 に円筒絞り試験での皮膜剥離量と皮膜平均 Fe 濃度、合金化温度の関係を示す。皮膜平均 Fe 濃度の増加、および合金化温度上昇による耐剥離性の低下²⁾が認められる。ただし、合金化温度 450°C と 500°C の間には顕著な差異は認められない。通常、めっき付着量の増加により剥離量も増加する²⁾ので、この結果から判断すれば、付着量の大きい皮膜では合金化温度の低下および皮膜 Fe 濃度の低減が必要と考えられる。

Fig. 5 に円筒絞り試験での最大成形荷重と皮膜平均 Fe 濃度、合金化温度の関係を示す。成形荷重は皮膜中の Fe 濃度が 9~12% の範囲で極大傾向を示し、特に合金化温度の低い場合に顕著になる。すなわち、この範

Table 1. Chemical composition of base steel (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Sol. Al	Ti	N
0.004	0.012	0.17	0.012	0.005	0.052	0.052	0.0022

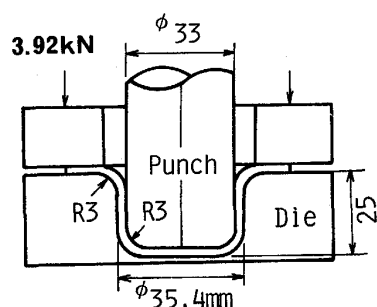


Fig. 1. Tool dimensions in cylindrical cupping test.

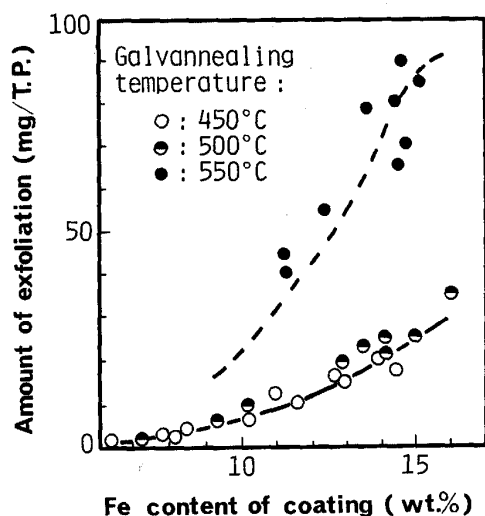


Fig. 4. Fe content and galvannealing temperature dependence of powdering amount of galvannealed coating in the cylindrical cupping test.

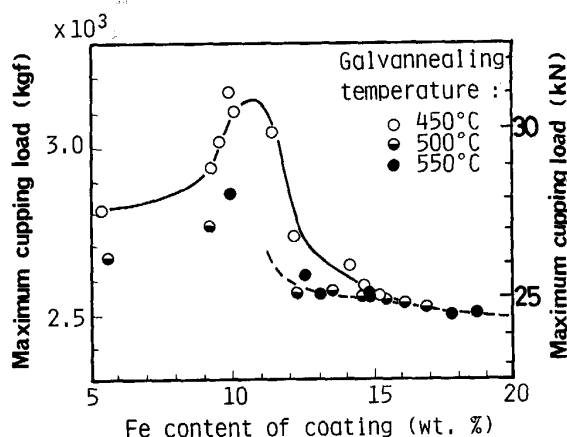


Fig. 5. Fe content and galvannealing temperature dependence of maximum load for cup-drawing.

囲の皮膜組成を有する GA は、成形荷重の増加を招き、潤滑状態によっては材料破断を起こす可能性が高くなる。

3.2 摩擦係数の測定・ドロービード試験

変形バウデン法によって測定した摩擦係数と皮膜組成の関係を Fig. 6 に示す。摩擦係数は皮膜中の Fe 濃度が 11% 以下となるとかなり増大する。このことは、低 Fe 濃度皮膜では、摺動要素の強い成形において摺動に起因する皮膜損傷問題が生じる可能性を示している。

そこで、一般に摺動の要素が大きいと考えられるドロービード試験により皮膜の剝離量とその損傷状態を調査し、合金化条件の影響を検討した。ドロービード試験における剝離量と皮膜組成、合金化温度の関係を Fig. 7 に示す。合金化温度上昇に伴う剝離量の増加傾向は円

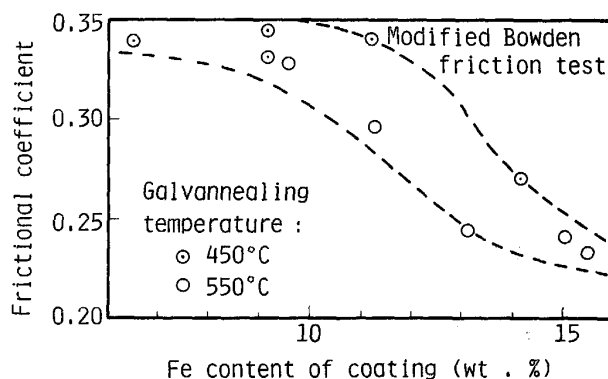


Fig. 6. Relationship between frictional coefficient of coating and galvannealing conditions.

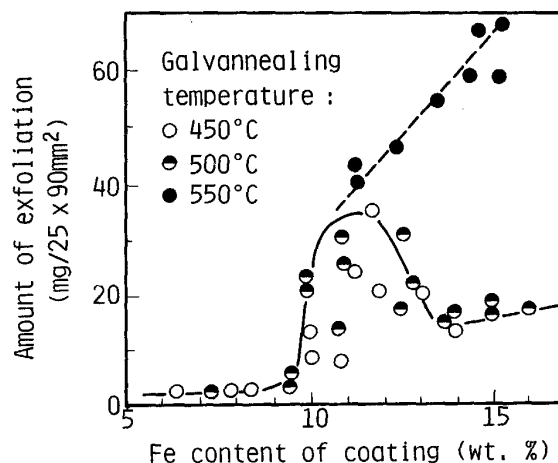


Fig. 7. Effect of galvannealing conditions on exfoliation amount in the bead-drawing test.

筒絞り試験結果と同様であるが、合金化温度が 450、500°C の場合ばらつきがあるものの、11% Fe 前後で剝離量が極大を示し、剝離量が Fe 濃度の単純な増加関数とならない点が円筒絞り試験の場合と本質的に異なる。

3.3 皮膜の相構造

前述の剝離挙動、摩擦係数の変化はめっき相の相構造の変化と密接に関連すると考えられる。Fig. 8 に X 線回折における η , ξ , δ_1 各相の回折強度の変化を皮膜平均 Fe 濃度の関数として示す²⁾³⁾。Fig. 5 の結果で特に成形荷重の増加が顕著な 450°C の場合、9~12% Fe の組成範囲は η 相が消滅、 ξ 相が残存する領域に相当し、成形荷重の減少する 12% Fe 以上の領域では ξ 相が消滅する。また、 ξ 相の形成が若干抑制される 500°C、さらにその形成がない 550°C では成形荷重の極大値が抑制傾向にあることから 9~12% Fe での成形荷重の増加は ξ 相の存在に依存するところが多いと考えられる。

この結果をもとに Fig. 7 を見ると、合金化温度 450、500°C の 9~11% Fe の範囲における剝離量の極大化は

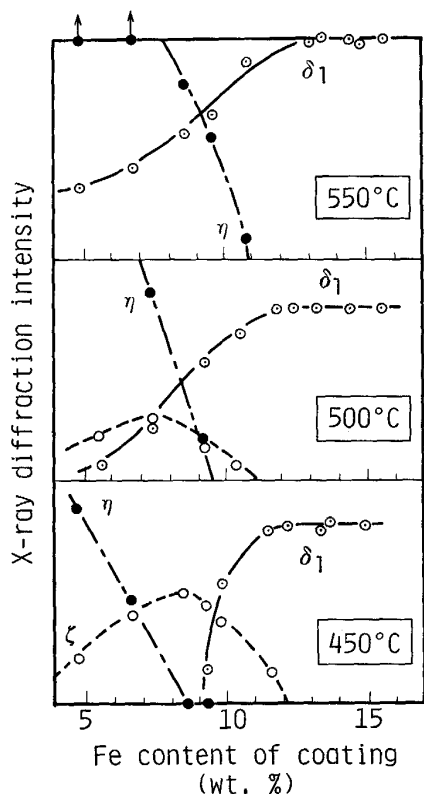


Fig. 8. Fe content and galvannealing temperature dependence of X-ray diffraction intensity of intermetallic compounds. Intensity of Zn (10·0), FeZn₁₃ (221) and FeZn₇ (14·3) is plotted.

めっき皮膜表層の ζ 相の影響を強く受けたものであり、8.5%Fe以下での比較的大きな耐剥離性は η 相の共存に関連すると考えられる。なお、550°Cの場合、および450、500°C処理の12.5%Fe以上の皮膜はともに表面が δ_1 相で被われた皮膜であるが、前者の場合鋼板めっき界面に Γ 相が形成されやすいのに対し、後者の場合 Γ 相よりも Γ_1 相が形成されやすい²⁾³⁾ことに皮膜構造上の差があると推定される。

ドロビーボード試験の剥離量と前述の円筒絞り試験の剥離量の相関関係をめっき層の表層の相構造に応じて四つに層別してFig. 9に示す。 η 相を若干含む $\eta+\zeta$ 系(以下Type A)ではいずれの評価でも剥離量は少なく、550°Cで合金化した δ_1 相系(Type D)は逆にいずれの評価でも剥離量が多い。また、 η 相を含まない ζ 相系(Type B, δ_1 が混在する場合も含める)では相対的にドロビーボード試験で剥離しやすく、450~500°Cで ζ 相を消滅させた δ_1 相系(Type C)ではドロビーボードでの剥離が円筒絞りの場合と比べ相対的に抑制傾向にある。全体として見れば両者の間には一義的な対応性はない。

3.4 ドロビーボード試験での皮膜の剥離形態

前述のType A~Dの四つの系に関してドロビーボード

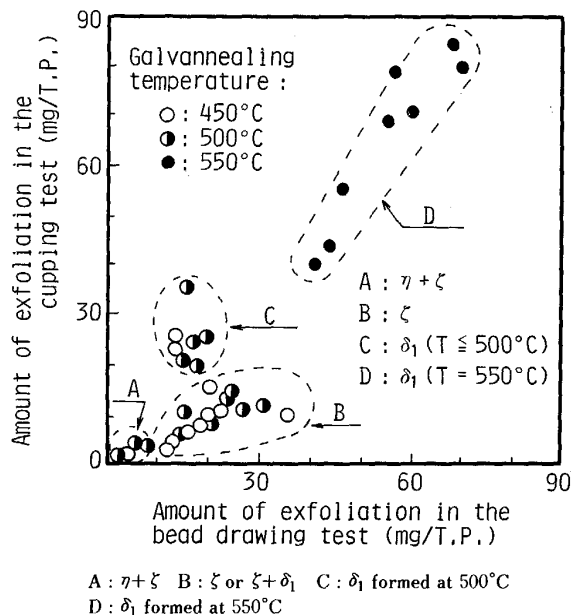


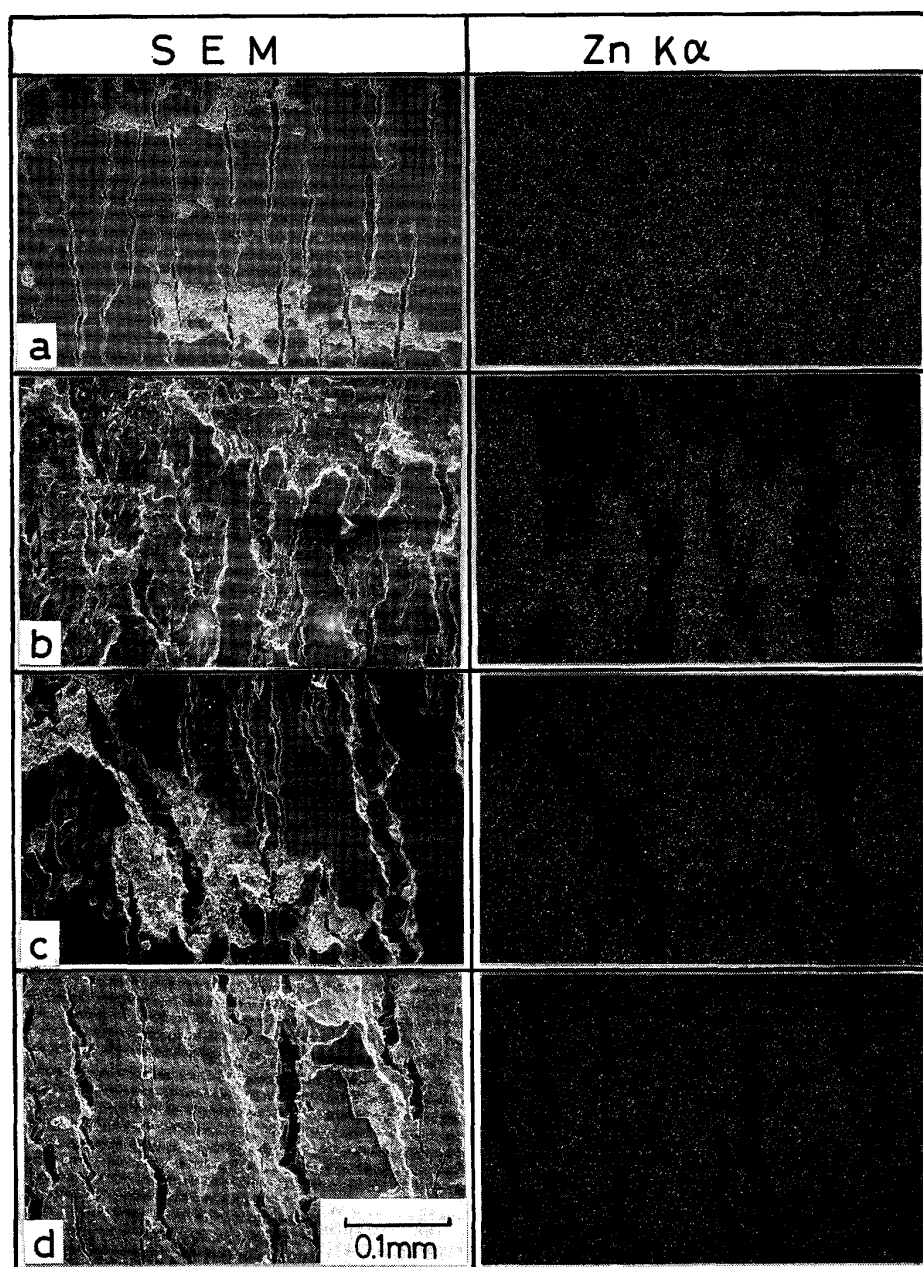
Fig. 9. Correlation between exfoliation amount in the cupping test and that in the bead-drawing test. Coatings are classified into four categories according to their intermetallic phases in the outer layer.

試験後の皮膜の剥離損傷状態を観察し、皮膜構造と剥離形態の関連性を調査した。

Photo. 1に四つの系の典型例についてドロビーボード試験後のめっき表面の損傷状態をZnの分布とともに示す。Type Aの場合には皮膜剥離は明確には認められないが、Type Bではめっき皮膜剥離が顕著に認められ、Znの欠損領域の広いことから剥離部ではめっき層の残存がほとんどないと考えられる。Type Cでは顕著な剥離はないが引抜き時に生じたクラック幅の拡大が認められる。さらに、Type Dでは表面のほとんどが剥離しているものの剥離面での残存が認められる。

Photo. 2にType AおよびType Bのドロビーボード後の断面を示す。aのType Aでは剥離はほとんど観察されず、めっき層表層の塑性変形した様子が認められる。 η 相の大きな変形能、比較的軟質な ζ 相の特性から、 $\eta+\zeta$ 系皮膜では引抜き時の表層の塑性変形により皮膜の破壊が抑制されると考えられる。bのType Bの場合 Γ (または Γ_1)相が非常に薄く、この結果のみでは剥離界面は厳密には明らかではないが、ほとんど鋼/めっき界面で剥離していることは明らかである。

Photo. 3にType B(ζ 系)の引抜きで生じた剥離皮膜の鋼側からの観察結果を示す。比較的大きいフレーク状の剥離物は典型的なフレーキングの発生を示す。EDAX分析の結果から剥離面の皮膜側組成は22~25%Feで Γ 相の組成に対応する点から剥離は非常に薄い Γ 相と鋼板の界面で生じたものと推定される。



Predominant phase in surface layer : a; $\eta + \zeta$ (Type A) b; ζ or $\zeta + \delta_1$ (Type B)
c; δ_1 formed at 500°C (Type C) d; δ_1 formed at 550°C (Type D)

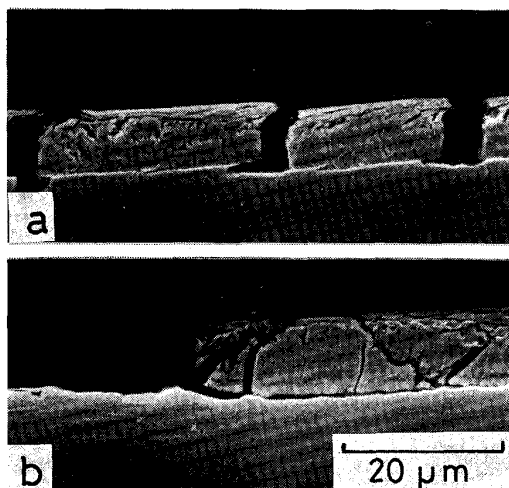
Photo. 1. Surface view of galvanized coatings after the bead-drawing test.

Photo. 4 は Type D の皮膜の剥離部分の拡大であるが、剥離部分の鋼板表面上に Γ 相と見られる組成の合金相が残存する点からめっき層の剥離は δ_1/Γ 界面または Γ 相内で発生していると考えられる。この剥離形態は圧縮変形で生じる顕著な剥離^{6,7)} の場合と形態的に一致する。

Photo. 5 に Type C のドロビード後の断面を Type B と比較して示すが、めっき/鋼板界面での剥離はほとんど認められない。ただ Type C の場合は引抜きにおける鋼板表面での塑性変形の抑制、鋼板表層の α -Fe 粒

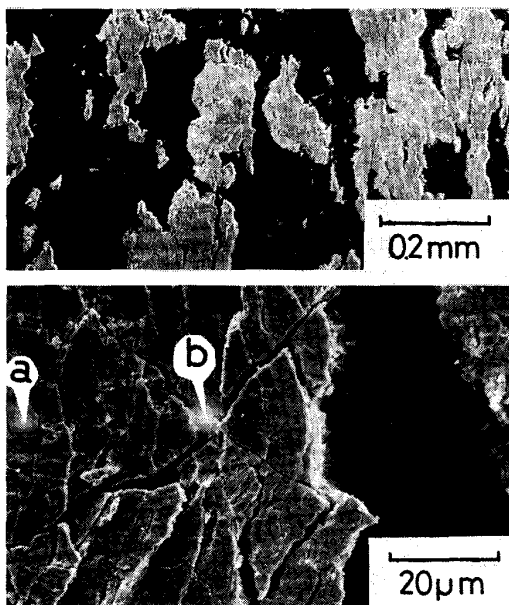
界で鋼板のき裂、鋼板表層の不均一なくびれが認められる。この原因は、Type C 皮膜の形成には 90 s 以上の合金化時間が必要であり、この間 α -Fe 粒界を通しての Zn 侵入により α -Fe 粒界が脆化するためと考えられる。

以上の剥離形態の観察で特徴的な点は、Type B 皮膜のめっき/鋼界面での剥離現象、および Type C の優れた耐剥離性であり、特に Type B (ζ 相型) のこのような剥離形態は圧縮変形ではほとんど認められない。すなわちこの型の皮膜では摩擦係数が高い結果として、摺動



Predominant phase in the surface layer : a; $\eta + \zeta$ (Type A)
b; ζ or $\zeta + \delta_1$ (Type B)

Photo. 2. Cross-sectional view of galvannealed coating after the bead-drawing test.



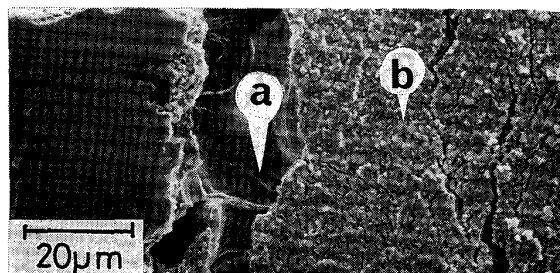
a: Zn-23.9%Fe b: Zn-24.2%Fe

Photo. 3. Steel-side view of Type B (ζ or $\zeta + \delta_1$) coating detached from substrate by the bead-drawing test.

時に大きな剪断力が直接めっき/鋼界面に伝わるものと推定される。この場合、界面剥離は摺動による剪断力と界面の密着性との相対関係に支配されると推定される。

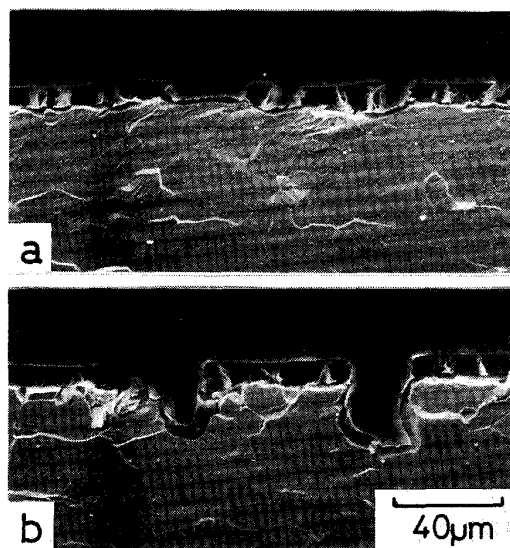
3.5 剪断引張試験での皮膜の剥離

前述の観点から、貼合せ材の剪断引張試験によりめっき皮膜密着性の定性的評価を試みた。この試験では合金化条件によらず、破断応力は接着面積当たり 15.4 ± 0.17 MPa であり有意な変動はなく、応力集中部となる



a: Zn-77%Fe b: Zn-25.3%Fe

Photo. 4. Plane view of Type D (δ_1 formed at 550°C) coating after the bead drawing test. The composition at b indicates existence of Γ -phase.



Predominant phase in the surface layer : a; ζ or $\zeta + \delta_1$ (Type B)
b; δ_1 formed at 450°C (Type C)

Photo. 5. Cross-sections of galvannealed steel after the bead-drawing (etched in HNO_3 -ethanol).

両端ではめっき層剥離は認められなかった。めっき/鋼界面の剥離面積率の変化のみが認められたので、これをめっき密着性の指標とした。ただし、鋼側剥離面には明確なめっき層の残存はないものの、EDAXで4~20%のZnが検出されるため、ここで定義する界面剥離はめっき/鋼境界部のめっき層のごく一部が鋼側に存在する可能性も含まれ、また界面密着性も境界部めっき層の凝集強度に対応する可能性も含まれる。

Fig. 10にめっき層/鋼の界面剥離面積率と皮膜組成の関係を示す。いずれの合金化温度でも皮膜中のFe濃度が7%以下ではめっき層剥離は生じないが、合金化完了（この時の皮膜組成はFig. 8のように合金化温度で異なる³⁾）前後から急激にめっき層/鋼界面剥離比率が増大する。また合金化温度の低い場合Fe濃度が13%程度から密着性は回復する傾向がある反面、合金化温度

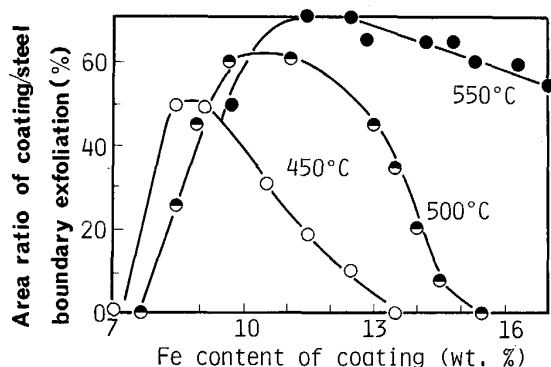
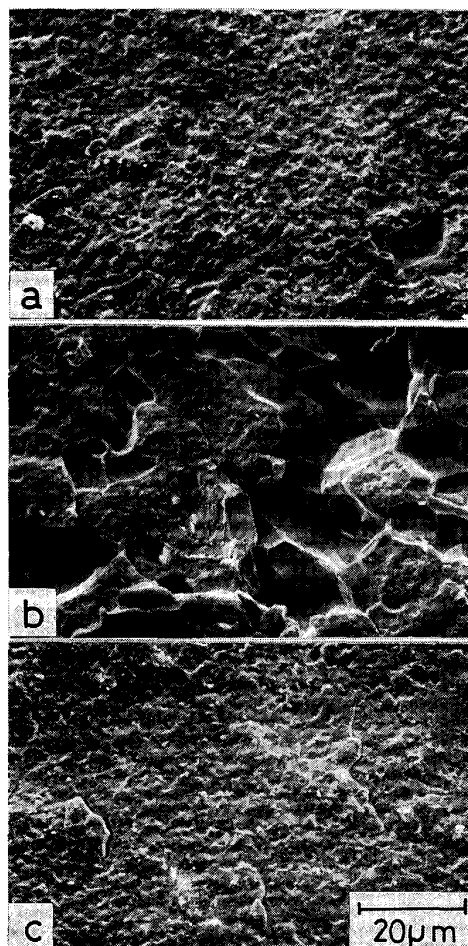


Fig. 10. Fe content and galvannealing temperature dependence of coating adhesion evaluated by means of the adhesive-bonding tensile test.



Predominant phase in the surface layer of coating: a; ξ or $\xi + \delta_1$ (Type B) b; δ_1 formed at 500°C (Type C) c; δ_1 formed at 550°C (Type D)

Photo. 6. Surface view of substrate after adhesive-bonding tensile test.

の高い場合 Fe 濃度の増加に伴う回復が生じにくい。すなわち、めっき層の密着力は、合金化条件により変化すると考えられる。

Photo. 6 に剪断引張試験での剥離面（鋼板側）の状態を示す。a の Type B の場合、剥離面はめっき/鋼板界面であり、めっき皮膜側に Γ 相の存在が確認される。すなわち剥離形態としてはドロビーボード試験の場合と一致する。一方 c の Type D の場合も剥離面は Type B の場合と同様、鋼板/めっき界面であり、ドロビーボード試験の場合と剥離形態が異なる。なお、b は Type C の例でわずかなめっき剥離部分の観察例であるが α -Fe 粒の一部が皮膜とともに剥離している点から相対的なめっき/鋼界面強度の向上が考えられる。

4. 考察

4.1 ドロビーボード試験での剥離形態

圧縮変形・曲げ曲げもどし変形を主体とする試験法での GA の皮膜剥離では、剥離箇所は Γ/δ_1 界面もしくはその近傍と考えられており⁶⁾⁷⁾、従来の報告では、この Γ/δ_1 界面もしくはその近傍の構造と GA 皮膜の耐剥離性を関連付ける議論が多い。

本報で取り上げたドロビーボード試験は摺動要素が大きいものの、皮膜剥離を引き起こす要素として、工具との摺動による剪断力のほか、ビード部分での曲げ曲げもどし変形が考えられる。前者の影響が強ければ、剪断引張試験での剥離形態と類似の形態を示し、逆に後者の影響が大きければ円筒絞りあるいは曲げ試験の場合と類似の剥離挙動を示すと考えられる。なお、INAGAKI ら⁴⁾の報告にもあるように試験条件の設定しだいではドロビーボード試験の摺動要素が低下するが、今回の試験条件は結果的に見て摺動要素が大きいものと思われる。

本報告のドロビーボード試験での皮膜剥離状態に関し、Type D の δ_1 相型 GA 皮膜では、その剥離箇所は貼合せ剪断引張試験とは異なり、 Γ/δ_1 界面もしくはその近傍であり、剥離量の皮膜中の Fe 濃度の影響を含め、従来から報告されている曲げ変形、円筒絞り試験での結果とはほぼ一致する。これらの事実は、Type D の δ_1 相型皮膜の場合にはドロビーボード試験での剥離が、主としてビードでの曲げ曲げもどし変形に起因することを示すと考えられる。

ところがドロビーボード試験における Type B の ξ 相型の皮膜の剥離は、めっき/鋼の界面剥離であり、かつ円筒絞り試験での剥離に比較してドロビーボードでの剥離量が相対的に大きい。このことから、Type B の皮膜ではドロビーボード試験での剥離の機構が円筒絞り試験や曲げ試験の場合と本質的に異なると考えられる。すなわち、その剥離形態が剪断引張試験での形態に対応することから、剥離は曲げ曲げもどしによるものではなく、剪

断引張りの場合と同一のめっき/鋼界面での剪断力によると考えられる。この型の皮膜の場合摩擦係数が高く工具との間の摩擦剪断力が大きい上に、Fig. 10 の結果のように界面の密着性が低い傾向にあるため、めっき/鋼界面の剥離が生じやすいと推定される。この点に関して沼倉ら¹⁰⁾ も δ 相皮膜が摩擦係数の増加を招き摺動によって剥離しやすいことを指摘しているが、著者らの見解では、さらに δ 相系皮膜のめっき/鋼界面の強度の不足がめっき/鋼界面での剥離を助長するものと推論した。

Type D の皮膜では、めっき/鋼界面の見かけ密着性は Type B と大きく変わらないが、摩擦係数が低下するので摺動剥離は抑制されると推定される。ドロービード試験さらには一般のビード成形では実際には先にビードでの曲げ変形が加わるため、Type D の皮膜の場合、摩擦より先に変形で皮膜が剥離すると推定される。これらのことから Type D の皮膜の場合、平面摺動のみでは皮膜の剥離が生じにくいこと、逆に Type B では平面摺動のみで皮膜が剥離する可能性が推定される。

4.2 界面の密着性

Fig. 10 の結果は合金化完了前後での、めっき皮膜密着性の低下を示すが、めっき層/鋼界面の見かけ密着性低下に関し類似の現象として塗装後のエナメルヘア現象¹³⁾ があり、この場合もめっき層/鋼界面での剥離、合金化の進行による耐剥離性の回復が認められる。したがってめっき/鋼界面剥離は変形過程でのめっき/鋼界面の剪断力が大きい場合あり得る剥離現象と言えよう。

本報で述べた見かけ密着性は真の意味での界面強度ではなく母材、皮膜の機械的特性にも依存するが、一応実用的な意味での密着性の指標にはなるであろう。なお、 δ 相系皮膜の密着性が劣るのは特異ではなく、一般に金層間化合物のめっき層はこの種の試験でめっき/鋼間での剥離傾向を示す。むしろ合金化の進行に伴う低い合金化温度での密着性の回復は α -Fe 粒界への投錨効果に起因すると考えられ、特に極低炭素鋼で顕著な現象と思われる。 α -Fe 粒界への投錨効果は Γ 相の存在状態によっても変わると言われており¹⁴⁾、合金化温度による密着性の変化は粒界反応と Γ 相の発達が温度により変化するためと考えられる。

今回検討した Type A~D のうち、Type A は GA 皮膜としては不完全であり、Type C は現在のところ通常工程での連続製造に難がある。製造容易なものは Type B の δ 相系か Type D の δ_1 相系であり、後者は圧縮変形に対する耐剥離性の改善が困難な点から、実用材としては Type B の摩擦係数を軽減する方策が有効と思われる。

5. 結 論

極低炭素 Ti 添加鋼をベースとする合金化溶融亜鉛めっき皮膜について円筒絞りおよびドロービード試験を行いその皮膜剥離挙動に対する合金化処理条件の影響を検討し、以下の結論を得た。

1) 表面層が δ 、もしくは $\delta + \delta_1$ 相系の皮膜は円筒絞りのような曲げ曲げもどしが主体の型の成形には優れた耐剥離性を示すが、摩擦係数が高くかつめっき/鋼界面の見かけの密着力も小さいため摺動要素の大きい成形ではめっき/鋼界面で剥離しやすい。

2) 500°C 以下の低温で合金化した δ_1 相系皮膜の耐剥離性は全般に良好で、摺動要素の大きい成形に対しても優れている。その理由の一つとして、鋼/めっき界面での密着性の向上が考えられる。

3) 550°C で合金化した高温 δ_1 型皮膜は円筒絞り、ドロービード何れの場合も耐剥離性が著しく劣る。この剥離は成形過程での曲げ曲げもどし変形によると考えられる。

4) 合金化温度が低ければ剪断に対する見かけの密着性が合金化の進行とともに回復する。これは α -Fe 粒界への Zn 侵入による投錨効果によるものと推定される。

文 献

- 1) Y. NUMAKURA, T. HONDA and T. HADA: Second International Conference on Zinc Coated Steel Sheet, Italy (1988), SC4/1 [Zinc Development Association]
- 2) T. NAKAMORI and A. SHIBUYA: Corrosion-Resistant Automotive Sheet Steels, ed. by L. ALLEGRA (1988), p. 135 [ASM]
- 3) 中森俊夫, 澁谷敦義: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 655
- 4) J. INAGAKI, S. NAKAMURA and M. YOSHIDA: SAE-890349
- 5) 薄鋼板成形技術研究会プレス成形時の表面損傷検討分科会: プレス技術, 23 (1985) 10, p. 53
- 6) 須藤忠三, 中森俊夫, 西原 実: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 73
- 7) 徳永良邦, 山田正人, 羽田隆司: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 997
- 8) 大石公志, 山中慶一, 保母芳彦, 坂根 正: 材料とプロセス, 2 (1989), p. 625
- 9) 浦井正章, 有村光史, 堺 裕彦: 材料とプロセス, 3 (1990), p. 1525
- 10) 沼倉幸雄, 中山元宏, 金丸辰也, 山田正人, 梅津祐司, 林 寿雄, 江嶋瑞男: 材料とプロセス, 2 (1989), p. 1701
- 11) 中森俊夫, 坂根 正, 土岐 保: 材料とプロセス, 2 (1989), p. 1702
- 12) 木本雅也, 坂根 正, 津田哲明, 林 豊: 塑性と加工, 30 (1989), p. 1639
- 13) 中森俊夫, 澁谷敦義: 住友金属, 41 (1989) 3, p. 9
- 14) J. J. SEBISTY: Electrochemical Technology, 6 (1968), p. 330