

合金化溶融亜鉛めっき鋼板の めっき層組織, 耐剝離性に及ぼす浴中Al濃度の影響

浦井 正章*・有村 光史*

Effect of Al Content in Bath on Coating Structure and
Exfoliating Resistance of Galvannealed Steel Sheet

Masaaki URAI and Mitsushi ARIMURA

Synopsis : The effect of Al content in the Zn bath on the unevenness of the coated surface of galvannealed steel sheet was investigated by observing the growth of the Zn-Fe alloy during galvannealing process. In the case of 0.13 mass% Al, Zn-Fe alloy initiated homogeneously on the substrate surface grows uniformly during galvannealing and this results in an even coated surface. In contrast, with a high Al content (≥ 0.17 mass%), Zn-Fe alloy initiates preferentially at the substrate grain boundary at an early stage of galvannealing and this brings about the formation of an outburst structure. As galvannealing progresses, this structure predominantly grows outwards by withdrawing the surrounding molten zinc. The coated surface, thereby, turns out to be uneven. An increase in the unevenness of coated surface increases the coefficient of friction and the exfoliation resistance deteriorates when the sheet undergoes the sliding action with ironing.

Key words : uneven coating ; galvannealing ; Al content in bath ; alloying reaction ; outburst structure ; Zn-Fe alloy layer ; Fe-Al alloy layer ; coating exfoliation.

1. 緒言

近年, 合金化溶融亜鉛めっき鋼板は優れた耐食性, 塗装性および溶接性を有するため, 自動車車体の耐久性向上を目的として多量に使用されるようになった。しかしながら本合金化めっき層は厳しいプレス加工を受けると剝離を起し, 剝離しためっき層が金型に堆積していくとプレス製品の表面品質およびプレス作業性を著しく損なうことになる。これまでめっき層の耐剝離性に及ぼすめっきあるいは合金化条件の影響については多くの知見が得られており, めっき浴中Al濃度が高いほど耐剝離性は向上すると報告されている^{1)~3)}。しかし一方ではAl濃度が高くなるとめっき層表面の凹凸が激しくなることが二三報告されている^{4)~6)}が凹凸の生成挙動, 成因については不明な点が多い。

そこで本研究では高Al濃度側におけるめっき層の組織, 表面性状を調査するとともに, めっきならびに合金化過程におけるZn-Feの合金化挙動を検討し, 表面凹凸の生成機構を考察した。

2. 実験方法

2.1 試験片の作成

めっき原板(サイズ: $0.8^t \times 100^w \times 200^l$ mm)としてTable

1に示す化学成分を有する低炭素Alキルド鋼板およびTi-Nb系極低炭素鋼板を用いた。縦型溶融めっき実験装置((株)レスカ製)を用いて, 亜鉛めっきおよび合金化処理を連続して行った。10vol% H_2-N_2 ガス雰囲気中で1073Kにて30sの加熱を行い鋼板表面を還元清浄化し, 733Kまで冷却したのち, 溶融めっき浴中に2s間浸漬した。浴中Al濃度は0.13, 0.17および0.20mass%の3水準を採用した。亜鉛めっき後の試験片にはただちに合金化加熱処理を施した。Table 2にめっきならびに合金化条件を示す。なおめっき付着量はめっき段階にて片面あたり約100g/m²とした。

Table 1. Chemical composition of specimens (mass%).

	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb
Low C-Al killed steel	0.04	0.01	0.20	0.010	0.010	0.040	—	—
Ultra low C-Ti-Nb steel	0.002	0.01	0.15	0.005	0.007	0.035	0.015	0.030

Table 2. Galvanizing and galvannealing conditions.

Al content in bath (mass%)	0.13	0.17	0.20
Bath temperature (K)	733		
Galvannealing temperature (K)	873		
Galvannealing time (S)	0~120		

平成6年6月20日受付 平成6年10月14日受理 (Received on June 20, 1994; Accepted on Oct. 14, 1994)

* (株)神戸製鋼所 加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 1 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

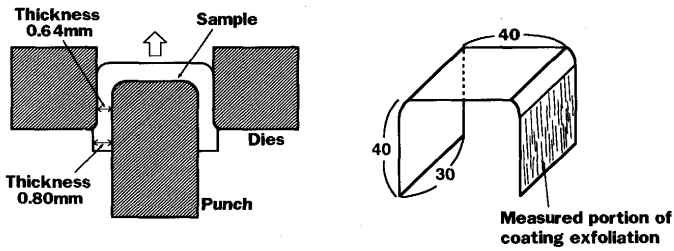


Fig. 1. Method of U-bending with ironing.

2・2 めっき層の成分および組織調査

各種条件にてめっきおよび合金化を行った試験片から50×50mmのサイズのサンプルを切り出し，めっき層を10vol%塩酸溶液にて溶解（めっき層の溶解による多量の水素ガスの発生が停止した時点を溶解終点とした）したのち，前後の重量差よりめっき付着量を算出するとともに，原子吸光分析を行ってめっき層中の鉄濃度を定量した。めっきならびに合金化過程におけるZn-Feの合金化挙動を調査するためにめっき層断面を光学顕微鏡にて観察した。さらにめっき層の凹凸生成状況を定量化するために，めっき長さ3mmあたりでめっき層厚さが2 μ m以下となっている個所の個数をカウントするとともに，めっき厚の最も厚い方から10点，最も薄い方から10点測定し，それぞれの平均値を算出し，めっき層の最大および最小の厚さとした。まためっき層表面はSEM観察を行い，めっき層内のAl濃度分布はEPMAにて分析した。

2・3 めっき層表面の摩擦係数および耐剝離性調査

摩擦係数は18×18mmのサイズを有する平面工具（材質：SKD11，表面仕上げ：#1000）を用い，加圧力（P）9500N（面圧29MPa），サンプル移動速度5mm/s，潤滑油として鋼板防錆油（粘度7mm²/s）の塗油量1.5g/m²の条件にて引抜き荷重（F）を測定し，摩擦係数 μ （ $=F/2 \cdot P$ ）を算出した。耐剝離性の調査はしごきを伴う摺動変形が加わるしごきU曲げ試験（しごき率=20%）を行った。Fig. 1に試験状況の概要を示すが，サンプル側壁は板厚が20%減少するしごき加工を受け，めっき層表面はダイスでしごかれながら摺動変形が加わる。加工後のサンプル側壁をテーピングし，テープに付着しためっき層を10vol%塩酸溶液にて溶解したのち原子吸光分析を行い，ZnおよびFeを分析し，両者の合計を剝離量とした。なお金型などに付着するめっき層の量はテーピングによる剝離量に比べ無視できることを確認している。

3. 実験結果

3・1 めっき層表面の凹凸生成挙動

Fig. 2はめっき原板として低炭素Alキルド鋼板を用い，Al濃度が0.13，0.17および0.20mass%のめっき浴にてめっきを施したのち，合金化を行い鉄濃度が11mass%となったため

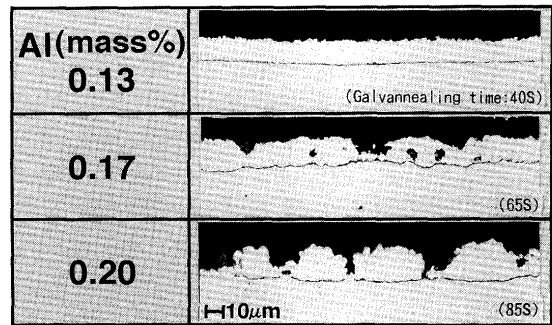


Fig. 2. Cross-sectional microstructures of coatings containing 11 mass% Fe (Base steel; Al killed steel).

めっき層断面組織を示す。Al濃度が0.13mass%では地鉄全面にZn-Fe合金層がほぼ均一に成長し，表面凹凸は少ない。しかし0.17mass%以上になるとめっき層の厚さが極端に薄い部分が局部的に観察され，Zn-Fe合金層の不均一成膜によりめっき層表面凹凸が激しくなっている。なおめっき層の凸部に対応する地鉄面は周囲に比べ窪んでおり，まためっき層内に一部空洞も観察される。次にこのような凹凸生成挙動に及ぼす原板鋼種，合金化過程の影響を浴中Al濃度の関連で検討した。凹凸発生状況の定量化としてめっき層厚さが2 μ m以下となっている個所の個数をカウントし，その結果をFig. 3に示す。低炭素Alキルド鋼板およびTi-Nb系極低炭素鋼板いずれの鋼板においてもほぼ同じ挙動を示し，合金化の進行とともに，また浴中Al濃度の増加とともに2 μ m以下となる個所の数は急増する。このように凹凸生成に及ぼすめっき原板鋼種の影響は小さいことが判明したので，以後の検討には低炭素Alキルド鋼板を用い，また浴中Al濃度の影響については0.13mass%および0.20mass%を取り上げた。

めっき層表面の凹凸の変化をさらに詳細に検討するために，合金化に伴うめっき層の最大および最小の厚さの変化を測定し，Fig. 4に示す結果を得た。いずれのAl濃度におい

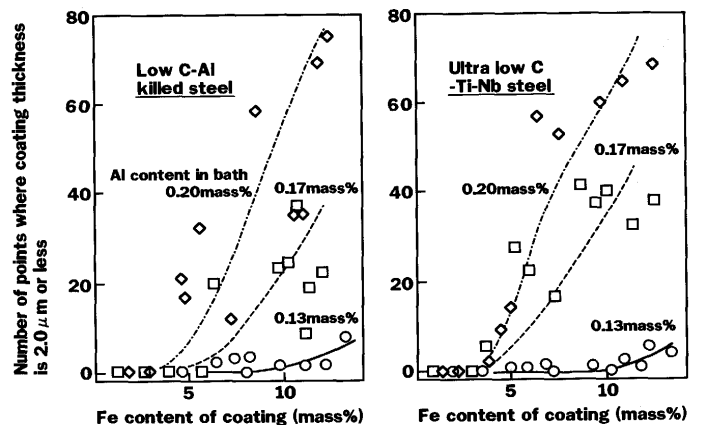


Fig. 3. Changes in number of points where coating thickness is 2.0 μ m or less during galvannealing process (number of points per coating length of 3mm).

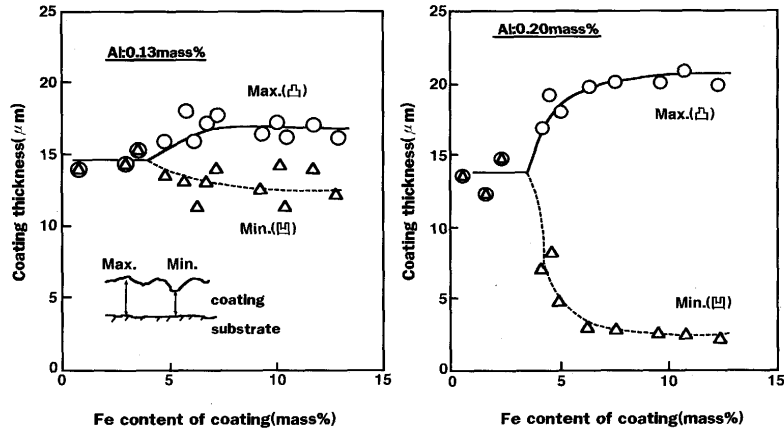


Fig. 4. Changes in coating thickness during galvannealing process.

ても、めっきままの段階ではめっき層の厚さは均一である。しかし合金化が進行しめっき層中鉄濃度が4 mass%以上になると急激に凹凸の発生が認められ、その程度はAl濃度が0.20mass%と高くなるとより顕著になり凸部のめっき厚さはめっきままに比べ約1.5倍、凹部では約1/10となる。このように合金化過程においてめっきままの厚さに比べ、厚い部分と薄い部分が生成するという事は合金化反応の進行に伴ってめっき層内にて亜鉛の局部移動が起きていることを示唆するものである。

そこで次にめっき段階ならびに合金化の進行に伴うめっき層断面組織の変化を調査し、その結果をFig. 5に示す。Al濃度が0.13mass%では、めっき段階にてすでにめっき層と地鉄界面に薄くおおよび均相となるZn-Fe合金層が均一に生成しており、これが合金化の進行とともに多少の凹凸を伴いながらもほぼ均一に成長している。そしてめっき層中鉄濃度が13mass%に達するとΓ相も均一に生成している。一方Al濃度が0.20mass%ではめっきままの段階にて上記合金層は観察されず、まためっき層表面は平滑である。その後合金化が進行して鉄濃度が4 mass%に達するとZn-Fe合金の金属間化合物が素地鉄表面から局部的に生成したいわ

ゆるアウトバースト組織の生成が観察され、この部分ではめっき層が盛り上がり凸部を形成し、一方その周囲では細かい柱状合金層が生成しているがその成長は小さい。鉄濃度が6 mass%になるとアウトバースト組織はさらに盛り上がり、一方柱状合金層の部分ではその発達は小さく、凹部となる。すなわち合金化が早く起こる部分では凸部、遅い部分では凹部となる。この段階において最も特徴的なことは、鉄濃度が4 mass%にて柱状合金層の部分に存在していた亜鉛層がほとんど認められなくなることである。これは鉄濃度が4 mass%から6 mass%に上昇する間に亜鉛の局部移動が起り、凸部のアウトバースト組織が周囲の熔融状態の亜鉛を取り込んで成長したことを示すものである。鉄濃度が8 mass%になると局部的に成長した合金層同士が合金化の遅い凹部を挟んで接触するようになり、空洞が形成される。この時点でめっき層凸部に対応する地鉄面の窪みが認められる。鉄濃度が13%になるとこの地鉄面に窪みがさらに明確になり、この部分でのみΓ相が厚く成長している。

Fig. 6は鉄濃度が13mass%のめっき層表面を示す。浴中Al濃度が0.13mass%では小さくかつ浅い凹部がごくわずかに観察されるのに対し、0.20mass%では大きな面積のかなり

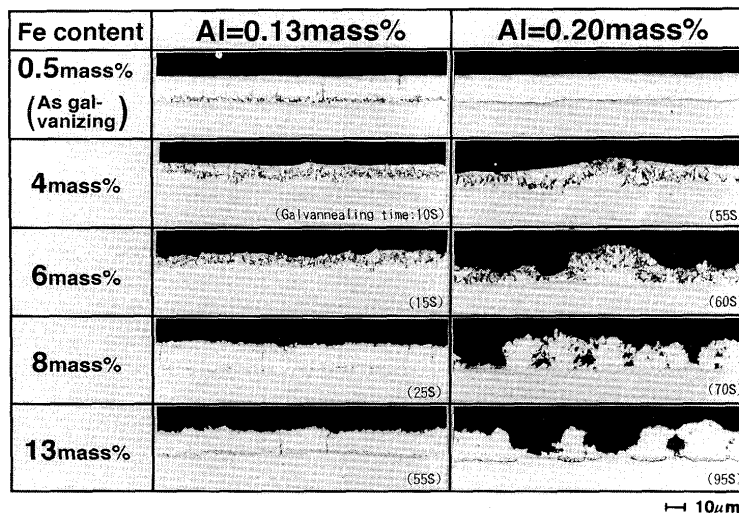


Fig. 5. Changes in cross-sectional microstructures of coatings during galvannealing process.

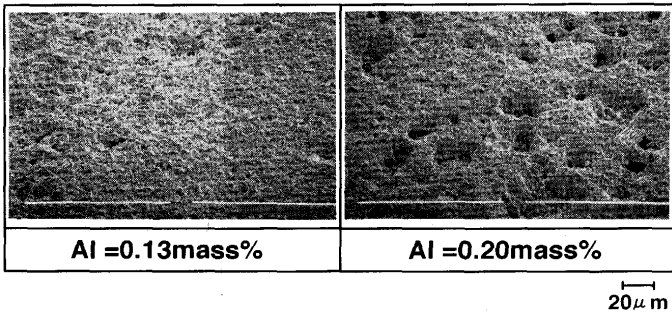


Fig. 6. Surface morphology of coating containing 13 mass% Fe.

深い凹部が数多く認められる。

以上の結果を整理すると、浴中Al濃度が0.20mass%では合金化初期におけるZn-Fe合金化反応が不均一に進行し、合金化が早く起こる部分では遅い部分の溶融垂鉛を取り込んで成長するためめっき段階の厚さ以上に厚くなって凸部を形成し、一方遅い部分では逆に垂鉛が取り込まれるため極端に薄くなって凹部となることが判明した。また凸部では合金化が早く起こること並びに周囲の垂鉛を取り込み地鉄との反応量が多くなるため、地鉄面が窪むものと考えられる。

3・2 めっき層中Alの分布

以上のようにめっき層表面凹凸は合金化初期におけるZn-Fe合金化反応の影響を強く受けることが明らかとなった。従来よりこの合金化反応の進行はめっき層と地鉄界面に生成するFe-Al合金層によって大きく支配されることは良く知られている^{7,8)}。そこでFe-Al合金層の生成状況を検討するために界面におけるAlの濃縮状況をEPMAにて調査した。Fig. 7は浴中Al濃度0.20%にてめっき後、合金化を行い鉄濃度が5%に達しためっき層におけるAl濃度の面分析結果を一例として示す。めっき層の凸部ではAlはめっき層全体にほぼ均一に分布しているのに対し、凹部では界面に著しい濃縮が認められる。めっき段階および合金化に伴うこの界面におけるAl濃度の変化をEPMAの線分析にて調査し(10個

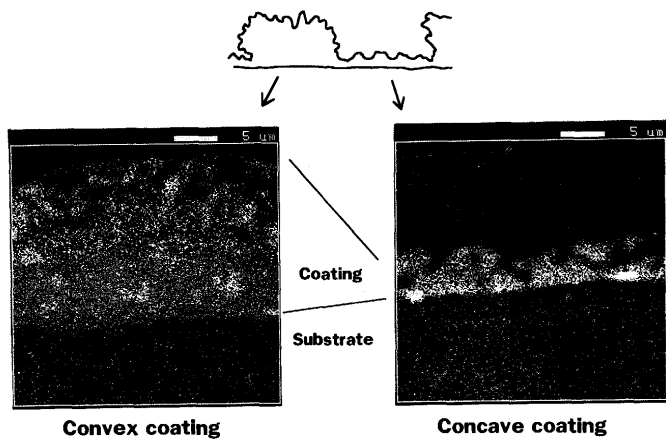


Fig. 7. Al distribution in coating layer containing 5 mass% Fe (Al in bath=0.20 mass%).

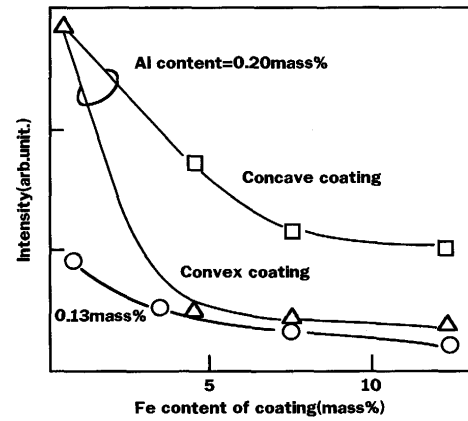


Fig. 8. Changes of Al concentration at interface between coating and substrate during galvannealing process.

所の界面に対して垂直方向に測定し、界面におけるAl強度の平均値を算出)、その結果をFig. 8に示す。浴中Al濃度0.13 mass%ではめっき段階にて濃縮しているAlは合金化とともに次第に減少している。一方Al濃度0.20mass%ではめっき段階での濃縮程度はAl濃度0.13mass%に比べ著しく高くなり、合金化の進行とともにめっき層の凸部では界面Alは直ちに減少しているのに対し、凹部ではその低下は少なく、めっき層中鉄濃度が8~13mass%に上昇しても一定レベルの濃縮が認められる。すなわちFe-Al合金層は凸部では合金化初期から消滅しているが、凹部では合金化完了段階にてもかなり残存していることが判明した。

3・3 めっき層表面凹凸と地鉄結晶粒の関係

めっき層断面組織の観察結果よりめっき層表面凹凸は合金化初期におけるアウトバースト組織の発生が起点となって生成することが明らかになった。これまでの研究⁹⁻¹¹⁾ではアウトバースト組織は極低炭素鋼にTiなどの炭化物形成元素を添加したIF鋼 (Interstitial Free鋼) に観察され、この組織は地鉄結晶粒界上で生成することが明らかにされている。本研究では低炭素Alキルド鋼板にてアウトバースト組織が認められ、これまでの知見とは異なっている。そこで浴中Al濃度0.20mass%にて鉄濃度13mass%を有するめっき層の凹凸部と地鉄フェライト結晶粒の関係を調査した。そ

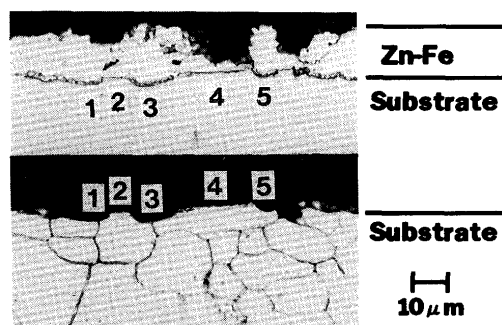


Fig. 9. Relation between Zn-Fe structure and ferrite grain boundary (Fe in coating=13 mass%; Al in bath=0.20 mass%).

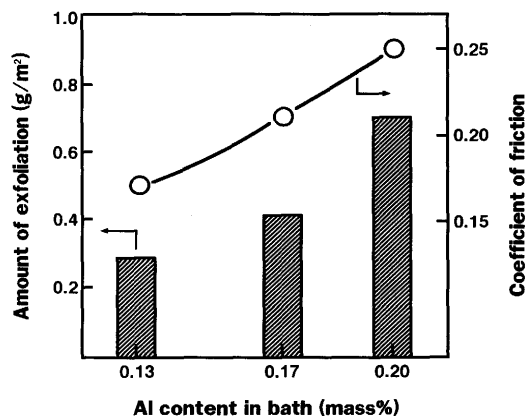


Fig. 10. Effect of Al content in bath on exfoliating resistance and coefficient of friction (Fe in coating=11 mass%).

の結果をFig. 9に示す。めっき層凸部に対応する地鉄窪み部に結晶粒界が観察され、凹部に対応する地鉄部は結晶粒内となっている。すなわち本研究と従来の研究ではアウトバースト組織が生成する条件は原板鋼種の点では異なっているが、地鉄結晶粒との関連は一致している。

3・4 めっき層表面の摩擦係数および耐剥離性

めっき層中鉄濃度が11%におけるめっき層表面の摩擦係数および耐剥離性の測定結果をFig.10に示す。摩擦係数は浴中Al濃度が高くなるとともに増加している。これは前述のようにAl濃度の増加とともに表面凹凸が激しくなるためである。合金化溶解亜鉛めっき鋼板の表面粗度と摩擦係数の関係について、比良¹²⁾らは面圧9.8MPaでは粗度が増加するとともに摩擦係数は増加すると報告しており、試験条件は異なるが、本研究の面圧29MPaにおける測定結果は同じ傾向を示している。しごきを伴う摺動変形における耐剥離性はAl濃度の増加によって低下する。これは摺動変形時において摩擦抵抗が増大し、めっき層に加わる剪断応力が増加するためと考えられる。なおめっき剥離量はめっき付着量の約1/100以下であるため、剪断力はめっき層のごく表面にかかり、この部分から剥離が起きていることが考えられ、今後剥離部の同定など剥離挙動の詳細を検討する必要があると考える。これまでの知見¹¹⁻¹³⁾ではAl濃度の増加に伴って耐剥離性は向上すると言われており、異なった結果が得られた。これは本耐剥離性試験ではしごき変形のみが加わるため、従来から行われているV曲げに代表される圧縮変形、あるいはドロービードにおける曲げ、曲げ戻しと摺動変形によるものとは加工変形様式が異なるためであると考えられる。

4. 考察

めっき浴中Al濃度が増加すると、めっき層表面はめっき段階では平滑であったにもかかわらず合金化によって凹凸が激しくなることが判明した。以下に浴中Al濃度の変化に

よる凹凸生成機構を考察する。

(1) 浴中Al濃度とアウトバースト生成

これまでに表面凹凸の生成は合金化初期において地鉄結晶粒界上に発生するアウトバースト組織が起点となることを述べた。このアウトバースト組織は斎藤ら¹¹⁾によると、めっき層と素地鉄界面に生成するFe-Al合金層中を拡散したZnが素地鉄結晶粒界にてFeと反応して形成されるとしている。

ここで浴中Al濃度とアウトバースト生成の関係を考察した。Fig. 5のめっき層組織変化およびFig. 8の地鉄界面におけるAl濃縮の結果をもとに、めっき段階および合金化初期段階におけるZn-Fe合金化反応の模式図をFig.11に示す。すなわちAl濃度0.13mass%ではめっき段階にてすでに薄いZn-Fe合金層が均一に生成しており、アウトバースト組織は観察されない。これはめっき段階にてめっき層と素地鉄界面のAlの濃縮が小さく、Fe-Al合金層の生成量が比較的小さいため、大量の亜鉛が地鉄結晶の粒内および粒界を問わず容易に地鉄全面に達しここで一斉にZn-Fe合金化反応を起こすことによると考える。すなわちAl濃度0.13mass%では、結晶の粒界と粒内における亜鉛と鉄の反応性の差が顕在化しないと推察される。このZn-Fe合金層は合金化段階にはいってもほぼ均一に成長する。一方Al濃度0.20mass%ではめっき段階にて上界面上におけるAlの濃縮が大きくなり、Fe-Al合金層の生成量が多いためこの段階ではZn-Fe合金層の生成は抑制されるが、その後の合金化段階にてFe-Al合金層中を拡散して地鉄に到達する亜鉛は大幅に抑制され、少量の亜鉛が地鉄結晶の粒界および粒内にて鉄と反応するようになる。このような状況の下では粒界と粒内における亜鉛と鉄の反応性の差が顕在化し、粒界上ではFe-Al合金層が破壊されてアウトバースト組織が形成されると考えられる。

次にアウトバースト組織と地鉄鋼種の関連を述べる。これまでアウトバースト組織はIF鋼の結晶粒界が清浄であるため、亜鉛との反応性が増加することによって生成すると考えられ⁹⁻¹¹⁾、低炭素Alキルド鋼ではIF鋼に比べ結晶粒界の清浄度は低いためアウトバーストの生成が起こりにくいことが予想される。しかしながら本研究では低炭素Alキル

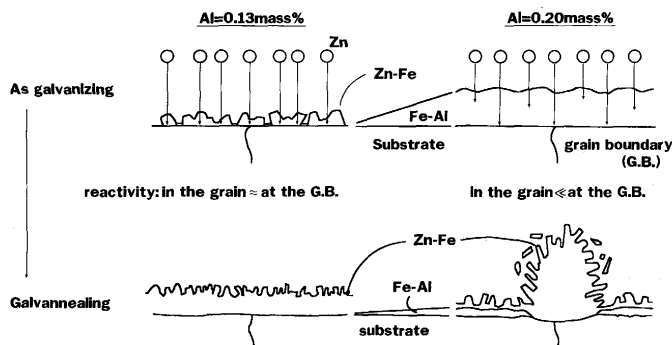


Fig. 11. Zn-Fe reaction in as-galvanizing and initial stage of galvannealing process.

ド鋼にもTi-Nb添加IF鋼とはほぼ同程度の表面凹凸が認められた。すなわち結晶粒界の清浄度のみでこの現象を説明できない。一般に金属原子の拡散現象に関しては、拡散は結晶粒内より結晶粒界の方が容易であるといわれており¹³⁾、低炭素Alキルド鋼ではこのために結晶粒界上にアウトバースト組織が生成すると考える。事実、稲垣ら¹⁴⁾は低炭素Alキルド鋼にもアウトバースト組織の生成を認めている。

(2)めっき層凹凸生成機構

これまでめっき層の凹凸は合金化反応の遅い部分の亜鉛が速い部分へ局部移動することによって生成することを述べた。ここでこの局部移動について考察する。Zn-Fe合金の成長に関するこれまでの研究¹⁵⁾では、鋼を溶融めっき浴中に長時間浸漬するとZn-Fe合金は素地鉄に対し垂直方向に成長することが知られている。すなわち素地鉄上にZn-Fe合金が生成すると、この合金中へその周囲に半無限に存在するめっき浴から亜鉛が拡散するとともに素地鉄から鉄が拡散することによって、Zn-Fe合金が垂直に成長を続ける。本研究においてはめっき層中における現象のため亜鉛量は有限ではあるが、成長に関しては同じ挙動を示すと考えられる。すなわちアウトバースト反応によって生成したZn-Fe合金中へその周囲の合金化の遅い部分の亜鉛が拡散移動し、素地鉄からの鉄と反応してZn-Fe合金は垂直にさらに成長する。この結果、めっき層の凹凸が激しくなると考える。

以上、これまで述べた結果を総合すると浴中Al濃度が0.20 mass%と高い場合のめっき層表面凹凸の生成機構はFig.12のように考えられる。

めっき段階では素地鉄結晶の粒界、粒内にかかわらずめっき層と素地鉄界面にFe-Al合金層が生成し、めっき層表面は平滑である(Fig.12(1))。合金化が始まると、結晶粒界からアウトバースト組織が生成、成長するとともに結晶粒内の上に存在する溶融亜鉛層を取り込んでめっき層表面に凹凸が発生する。アウトバースト組織同士がぶつかり合った部分では空洞が生成する。粒界では地鉄が窪み、粒内ではFe-Al合金層が薄く存在している(Fig.12(2))。さらに合金化が進行すると粒界にてこのアウトバースト組織がさ

らに成長するとともに一部空洞を含んだ組織となり、一方粒内ではわずかのZn-Fe合金層が存在するのみとなり表面凹凸が激しくなる。粒界では地鉄が大きく窪み、 Γ 相が厚く生成する(Fig.12(3))。

5. 結言

合金化溶融亜鉛めっき鋼板のめっき層組織、合金化挙動に及ぼすめっき浴中Al濃度の影響を検討し、表面凹凸生成機構を明確にした。得られた結果は次のとおりである。

(1)浴中Al濃度が0.13mass%では合金化にて、Zn-Fe合金層が均一に成長するが、0.17mass%以上になると合金層の不均一成長によって、めっき層表面凹凸が激しくなる。

(2)浴中Al濃度が低い場合(0.13mass%)、めっき段階にてすでにZn-Fe合金層が均一に生成し、これが合金化段階にて引き続き均一に成長するためめっき層表面凹凸は少ない。

(3)Al濃度が高くなると(0.20mass%)、めっき段階ではZn-Fe合金層の生成は抑制され、合金化初期にて亜鉛との反応性が高い素地鉄結晶粒界部においてZn-Feの合金化反応が局部的に早く起こり、アウトバースト組織が生成する。この部分は合金化反応の遅い素地鉄結晶粒内上に存在する溶融亜鉛を取り込んで成長を続ける。すなわち亜鉛の局部移動を伴う合金化の不均一反応によってめっき層表面凹凸が激しくなる。

(4)めっき層の表面凹凸が激しくなると摩擦係数が増大し、しごきを伴う摺動変形におけるめっき耐剥離性が低下する。

文 献

- 1) 浦井正章, 有村光史, 寺田 誠, 山口雅彦, 堺 裕彦, 野村伸吾: 鉄と鋼, 77 (1991), p.971
- 2) A. Yasuda, H. Koumura, K. Yamato, K. Onizawa and H. Ota: Proc. World Material Congress (Corrosion Resistant Automotive Steel Sheet) ASM-International, Chicago (1988), p.45
- 3) 中山元宏, 金丸辰也, 沼倉行雄: 材料とプロセス, 5 (1992), p.1665
- 4) 稲垣淳一, 森田正哉, 西本昭彦: 材料とプロセス, 3 (1990), p.661
- 5) 池田卓穂, 岡田 広, 末宗義広, 川口勝徳: 材料とプロセス, 4 (1991), p.663
- 6) 荒井正浩, 中森俊夫, 足立吉隆, 薄木智亮: 材料とプロセス, 5 (1992), p.1649
- 7) 日戸 元, 山崎桓友, 森田矩夫, 矢部克彦, 坂東誠志郎: 鉄と鋼, 70 (1984), p.1719
- 8) H. Smith and W. Batz: JISI, Dec. (1972), p.895
- 9) 西本昭彦, 稲垣淳一, 中岡一秀: 鉄と鋼, 72 (1986), p.989
- 10) 徳永良邦, 山田正人, 羽田隆司: 鉄と鋼, 72 (1986), p.997
- 11) 斎藤 実, 内田幸夫, 橋高敏晴, 広瀬祐輔, 久松敬弘: 鉄と鋼, 77 (1991), p.947
- 12) 比良隆明, 鎌田征雄, 安田 顯, 阿部英夫: 塑性と加工, 34 (1993), p.1141
- 13) 幸田成康: 金属物理学序論 (昭和39年), p.111 [コロナ社]
- 14) 稲垣淳一, 櫻井理孝, 渡辺豊文: 鉄と鋼, 79 (1993), p.1273
- 15) H. Bablik: GALVANIZING (Hot-Dip), (1950), p.239 [E, & F.N. SPON LTD]

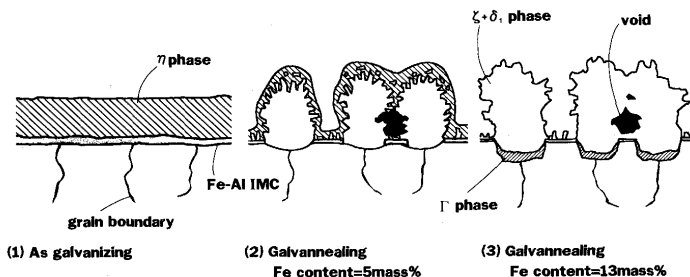


Fig. 12. Schematic diagram showing formation of uneven coating (Al in bath=0.20 mass%).