

水平型めつきセルにおけるコンダクター ロールへの亜鉛めつき付着要因

鷺山 勝*・川辺 正樹*・渡辺 勉*
登内 明*²・辻原 利之*²

Factors Affecting Zinc Electrodeposition on Conductor Roll in a Horizontal Electroplating Cell

Masaru SAGIYAMA, Masaki KAWABE, Tsutomu WATANABE,
Akira TONOUCHI and Toshiyuki TSUJIHARA

Synopsis:

Factors affecting zinc electrodeposition on conductor roll (CDR) in a horizontal electroplating cell were investigated. Zinc electrodeposition on CDR was basically attributed to leak current from anode to CDR through plating bath. Limiting current density of hydrogen evolution was also a dominant factor affecting zinc electrodeposition on conductor roll. A decrease in the leak current and an increase in the current density of hydrogen evolution reduced zinc electrodeposition on CDR. The leak current depended on electroplating cell parameters including the distance between CDR and anode, the electrode gap, anode length and solution level from strip. The current density of hydrogen evolution was affected by bath composition and pH of the bath. Decreasing pH of sulfate bath increased the current density of hydrogen evolution. Prevention of zinc electrodeposition on CDR was not achieved only by lowering pH of sulfate bath down to 1 in the cell used for the experiments. It was attained by applying CDR shielding method using covers made of insulator neighboring on CDR in addition to using sulfate bath of pH=1.

Key words: zinc electrodeposition; conductor roll; horizontal electroplating cell; conductor roll shielding method.

1. 緒 言

亜鉛系電気めつき鋼板の需要増大に伴い、電気亜鉛めつきラインには高生産性を達成するため高電流密度が適用でき、かつ大電流の投入できるめつきセルが設置されてきた¹⁾。高電流密度の適用と大電流の投入は生産性を高める観点から有利な反面、浴抵抗やストリップ抵抗に起因するエネルギー損失を増大させる。浴抵抗の問題に対処する技術としては、ストリップを流体支持することにより極間距離を短縮したり²⁾、電導度の高い塩化浴を適用する³⁾などの技術がすでに開発されている。他方、ストリップ抵抗に起因するエネルギー損失の低減に対しては負の端子であるコンダクターロールとアノード間の距離を短縮することが進められている。水平型めつきセ

ルはコンダクターロールに対する力学的負荷が小さいので小径のコンダクターロールが使用可能であり、堅型めつきセルに比べてコンダクターロール・アノード間距離を短縮でき、有利である。しかし、コンダクターロール・アノード間にダムロールを設置した水平型めつきセルではコンダクターロール・アノード間距離短縮の観点から、ダムロールを省略することが望まれる。ところが、ダムロールを省略したダムロール・フリー水平型めつきセルではめつき液がコンダクターロールに直接接するので、コンダクターロール上でカソード反応が起き、その結果めつきが付着する。このコンダクターロール上へのめつき付着（以下では単にめつき付着と言う）はめつき表面疵を発生させるなど品質上問題となるので、めつき付着防止が不可欠である。しかし、これまでめつき付着

昭和 63 年 2 月 25 日受付 (Received Feb. 25, 1988)

* NKK 鉄鋼研究所 (Steel Research Center, NKK Corporation, 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

*² NKK 福山製鉄所 (Fukuyama Works, NKK Corporation)

に関する系統的な研究報告は少ない⁴⁾。そこで、著者らは亜鉛めつきを対象にしてめつき付着に及ぼすめつき浴性状とめつきセル構造の影響を検討することによりめつき付着要因を解明するとともに、それらの知見を基礎にめつき付着防止法も検討したので、報告する。

2. 実験方法

ダムロール・フリー水平型めつきセルではアノードに対向するストリップとコンダクターロールをそれぞれ近くのカソード、遠くのカソードとして一つのアノードから電流が流れると想定できる。そこで、めつき付着に及ぼすめつき浴の種類や pH の影響は距離の異なる二つのカソードを有する Blum-Haring セルを用いた均一電着性⁵⁾の測定により検討した。均一電着性は次式で示される Field の式⁵⁾で表した。

$$T = (P - M) / (P + M - 2) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 T : 均一電着性、 $P = a/b$, $M = W_B/W_A$, a, b : アノードからカソード A, B までのそれぞれの距離, W_A, W_B : カソード A, B に析出したそれぞれのめつき付着量。本実験では $P=5$ (一定), カソードは特に断らない限り冷延鋼板とした。

(1) 式からわかるように、均一電着性 T はめつき付着量 W_A, W_B が距離 a, b によらず同じになる場合、+100, W_A, W_B が距離に反比例する場合、0, 遠くのカソードにめつきが全く付着しない場合、-100 となる。

実験に用いためつき浴は硫酸浴、混合浴、塩化浴の 3 種類でそれらの組成を Table 1 に示す。pH 調整は硫酸浴、混合浴については硫酸を、塩化浴については塩酸を使用して行った。均一電着性を考察するために分極測定を行った。このとき、参照電極として Ag/AgCl 電極を、またアノード、カソードとしてそれぞれ純度 99.99% の亜鉛板と冷延鋼板を用いた。

セル内電位分布とコンダクターロールに流れる電流は導電紙法⁶⁾を適用して推定した。導電紙法における電位、電流分布測定は Fig. 1 に示すモデルを作成して行った。使用した導電紙は巴川製紙(株)製アナコンペーパー、Al 箔と導電紙の接着に用いた接着剤は藤倉化成(株)製ドータイト D-550 である。導電紙上の電圧測定は、測

Table 1. Bath composition.

Bath	Composition (mol/l)					
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	ZnCl ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	CH ₃ COONa·3H ₂ O	KCl
Sulfate	1.32	—	0.5	0.25	—	—
Mixed	1.53	0.77	—	—	0.11	—
Chloride	—	2.20	—	—	—	4.02

定電極間に 1V の直流電圧を印加した状態で一方の測定電極を基準として針状端子で導電紙を触針することにより行った。

コンダクターロール上へのめつき付着については Fig. 2 に示す小型めつきセルと実機セルを用いて実験した。これらのセルのアノード、コンダクターロール材質はそれぞれ純度 99.99% の亜鉛と Ni 基合金である Hastelloy である。小型めつきセルはコンダクターロール・アノード間距離 l と液面高さ h が調整可能としてある。使用したコンダクターロール径は 150 mm である。実機セルは、(1)コンダクターロール径を 300 mm とした(2)一つのコンダクターロールの前後に 700 mm 長のアノードを設置した(3)コンダクターロール・アノード端面間距離を 360 mm 一定とした点において小型めつきセルと相違するが、構造的には小型めつきセルに類似したものである。ストリップは小型めつきセル用が 200 mm 幅、実機セル用が 1829 mm 幅である。コンダクターロールに付着しためつき量は電解剥離法により測定した。

めつき付着防止法としてコンダクターロール近傍に絶縁性のコンダクターロール・カバー(以下、カバーと呼ぶ)を取り付けるコンダクターロール・シールド法を検討し

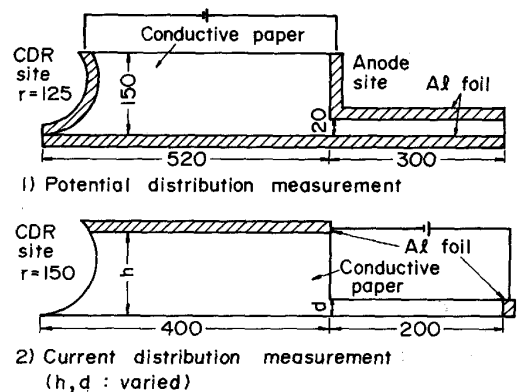


Fig. 1. Horizontal cell model for experiments using conductive paper.

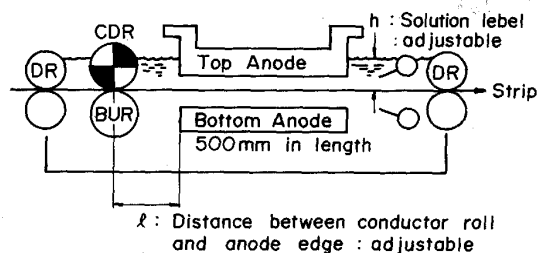


Fig. 2. Dam roll free type horizontal cell used for pilot line experiments.

た。カバーはコンダクターロール，ストリップ表面からそれぞれ 10 mm 離れた位置に取り付けた。

3. 結果と考察

3.1 めつき浴性状の影響

均一電着性に及ぼすめつき浴の種類と pH の影響を Fig. 3 に示す。pH が 2~4 の範囲では、均一電着性はいずれのめつき浴においても -10~+10 であり、均一電着性のめつき浴依存性は小さかつた。しかし、pH が 2 未満の範囲ではめつき浴の種類によつて均一電着性に大きな差が生じた。すなわち、均一電着性は硫酸浴では pH=1.5 以下にて、混合浴では pH=1 にて -100 となり、pH の低下に伴つて急激な低下を示したが、塩化浴では pH=1 でも均一電着性は 0 程度にとどまつた。均一電着性は遠くのカソードにめつき付着が全く起こらない場合 -100、めつき付着量が距離の比に反比例する場合 0 となる。従つて、塩化浴では低 pH でも距離に反比例しためつき付着が生じるのに対し、硫酸浴と混合浴では低 pH 条件下で遠くのカソード上でめつき付着が生じなくなるのがわかる。

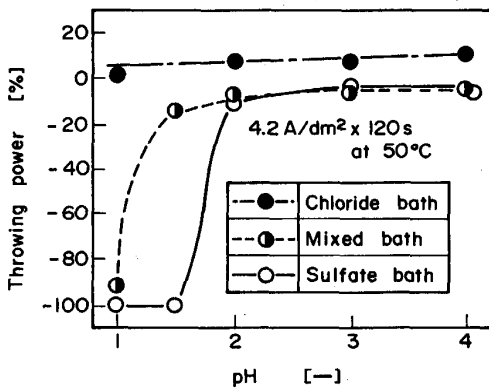


Fig. 3. Effect of pH and bath type on throwing power.

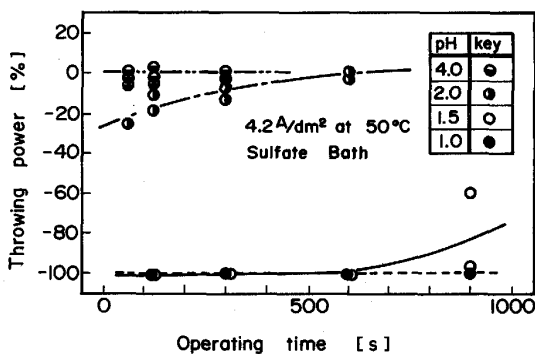


Fig. 4. Effect of operating time on throwing power.

硫酸浴の均一電着性の経時変化を Fig. 4 に示す。均一電着性は pH=4 では通電当初から 0 であり、経時変化はなかつたが、pH=2 では均一電着性は経時的に上昇した。pH=1.5 では均一電着性は 600 s まで -100 であつたが、その後上昇する傾向を示した。pH=1 では均一電着性は試験時間内で -100 のまま一定であつた。

上述したように均一電着性、言い換えると遠くのカソード上でのめつき付着の起こりやすさはめつき浴の種類、pH、通電時間によつて変化する。この理由を考察するため、硫酸浴と塩化浴を選びカソード分極曲線を測定した。Fig. 5 にその結果を示す。カソード分極曲線を測定した。Fig. 5 にその結果を示す。カソード電流密度は -500~-600 mV で急激に増加し、その後卑な電位側ではほぼ一定値に達した後、-950~-1000 mV で再び増加した。-950 mV 付近より卑な電位でのカソード電流は垂鉛の析出反応に、それより貴な電位域のカソード電流は水素発生反応に対応する。硫酸浴と塩化浴は pH が同じでも水素発生電流に相違があり、pH=2 以下では硫酸浴の水素発生電流が塩化浴のそれよりも著しく大きい。これは硫酸浴、塩化浴の pH 調整用にそれぞれ加えた硫酸と塩酸の pH 緩衝性の差に起因する。すなわち、硫酸は pH=2 付近で HSO₄⁻ の解離反応に基づく pH 緩衝性を有するが、塩酸は pH 緩衝性を示さない。従つて、塩化浴の場合、カソード近傍の水素イオンは容易に消費され、低い電流密度で水素発生の限界電流密度に達するが、硫酸浴の場合、硫酸の pH 緩衝性により高い電流密度まで水素発生の限界電流密度に達しない。この理由により硫酸浴の水素発生が塩化浴のそれよりも大きくなつたと考えられる。

分極測定の結果より、均一電着性に及ぼすめつき浴組成、pH と通電時間の影響は次のように理解できる。硫

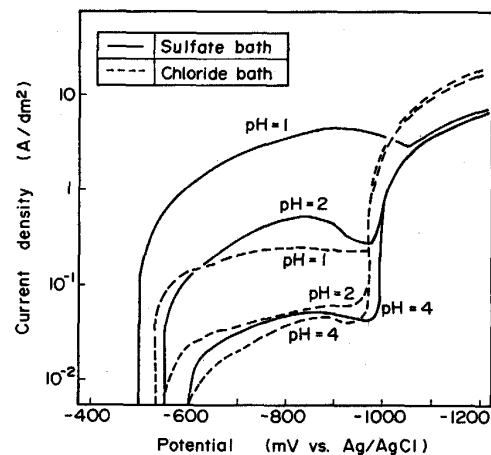


Fig. 5. Cathodic polarization curves of sulfate bath and chloride bath.

酸浴において pH=2~4 の範囲で均一電着性がほぼ 0 であったのは水素発生の限界電流密度が低いため遠くのカソード上でも水素発生限界電流密度を超える電流が流れ、通電初期から亜鉛の析出が起こる。亜鉛析出が起こると亜鉛の水素過電圧が高いので水素発生は起こらず、距離に反比例して流れる電流のほとんどが亜鉛析出に用いられ、その結果均一電着性が 0 となる。pH=1.5 では水素発生の限界電流密度が遠くのカソードに流れる電流密度よりやや高いので、通電初期には水素発生のみが起き、均一電着性は -100 となる。しかし、電流集中を起こしやすいカソード周辺部では亜鉛の析出と溶解が起こり、しだいに析出面積が拡大していき、やがて亜鉛析出が顕在化して均一電着性が上昇する。pH=1 では水素発生の限界電流密度が遠くのカソードに流れる電流密度よりも十分高いので亜鉛析出が起こらない。塩化浴では水素発生の限界電流密度が pH=1 でも pH=2 の硫酸浴のそれよりも低いので、塩化浴の均一電着性は pH=2 の硫酸浴のそれよりも高くなる。混合浴では pH 調整を硫酸で行っているため、硫酸浴に近い挙動を示すことになる。

3.2 セル構造の影響

3.2.1 導電紙によるセル構造要因の検討

めつき付着に影響を及ぼすセル構造要因を把握するため、セル内電位分布とコンダクターロールに流れる電流を導電紙法により調査した。

セル内電位分布は次の三つのケースについて測定した。

(a) コンダクターロール・ストリップ間の接触抵抗 ($R_{CDR, STRIP}$) = 0, アノード側面の絶縁: なし

(b) $R_{CDR, STRIP}$ = 0, アノード側面の絶縁: あり

(c) $R_{CDR, STRIP} \neq 0$, アノード側面の絶縁: あり

測定結果を Fig. 6 に示す。ケース(a)の場合、アノード側面とコンダクターロール間に大きな電界の発生が認められた。ケース(b)では、アノード側面の絶縁によりケース(a)で発生した電界が著しく抑制された。しかし、極間から電界が漏れており、これによりアノード・コンダクターロール間に小さい電界が発生した。ケース(c)では、コンダクターロール・ストリップ間の接触抵抗に起因する電圧降下によりコンダクターロール・ストリップ間に電界が発生した。

以上の結果より、コンダクターロールを負極とする電界の発生源は 1) 絶縁されていないアノード側面, 2) コンダクターロール・ストリップ間の接触抵抗, 3) 極間からの漏れであることがわかる。

次に、漏れ電流のみがめつき付着原因となるケース

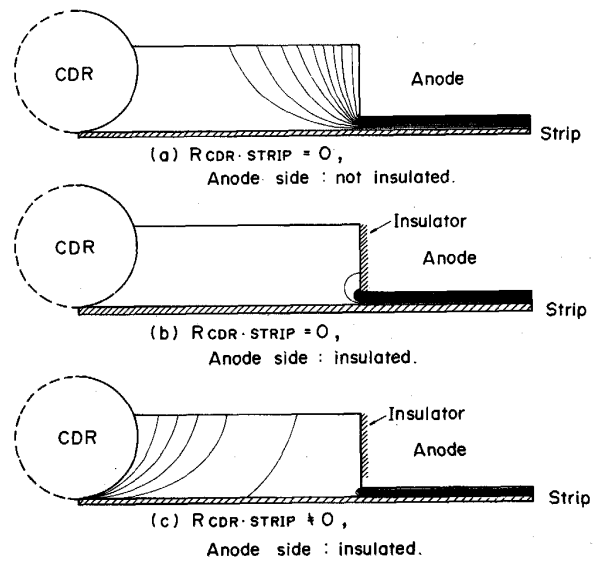
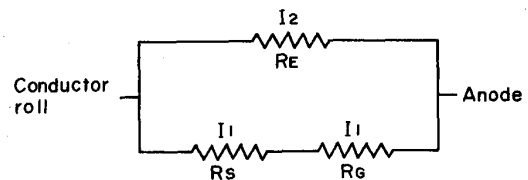


Fig. 6. Potential distribution measured by conductive paper method.



R_S : Resistance of strip, R_G : Resistance of electrolyte between anode and strip, R_E : Resistance of electrolyte between anode and conductor roll, I_1, I_2 : Current

Fig. 7. Equivalent circuit of plating cell.

(b)について、漏れ電流に及ぼすセル構造パラメータの影響を検討する。アノードからコンダクターロールに流れる電流の簡略化した等価回路を Fig. 7 に示す。ここでは簡略化のためアノードから極間をはずれた部分のストリップに流れる電流を無視した。この回路におけるアノードからコンダクターロールに漏れる電流は次のように導かれる。

等価回路より、

$$I_2 = I \cdot (R_S + R_G) / (R_S + R_G + R_E) = I \cdot (R_S/R_E + R_G/R_E) / (1 + R_S/R_E + R_G/R_E) \dots \dots \dots (2)$$

また、

$$R_S = l / (w \cdot t \cdot \sigma), R_G = d / (w \cdot L \cdot k), R_E = l / (w \cdot h / 2 \cdot k) \dots \dots \dots (3)$$

$$I = D_K \cdot w \cdot L \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 I : コンダクターロールに流れる全電流, I_2 : アノードからめつき液を通じてコンダクターロールに流れる電流, R_S : ストリップ抵抗, R_G : 極間での液抵抗, R_E : コンダクターロール・アノード間の液抵抗, l : コ

ンダクターロール・アノード間距離, d : 極間距離, h : 液面高さ, L : アノード長さ, w : ストリップ幅, t : ストリップ厚み, σ : ストリップの電気伝導度, k : めつき液の電導度, D_K : 電気密度

本実験では, $l=200\sim600$ mm, $d=25$ mm, $h=50\sim90$ mm, $k\approx 0.09\sim 0.4\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, $\sigma\approx 10^5\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, $t=0.7\sim 0.8$ mm としたので, (3)式より,

$R_S/R_E \ll 1$, $R_G/R_E \ll 1$ となる. これより(2)式は次のように近似できる.

$$I_2 = (R_S/R_E + R_G/R_E) \cdot I$$

$$= 0.5 h \cdot D_K \cdot w \cdot \{ (L/t) \cdot (k/\sigma) + d/l \} \quad \dots\dots(5)$$

これよりストリップ単位幅あたりの漏れ電流 i は,

$$i = I_2/w$$

$$= 0.5 h \cdot D_K \cdot \{ (L/t) \cdot (k/\sigma) + d/l \} \quad \dots\dots(6)$$

となる.

(6)式より, Fig. 2 に示すような構造のセルでのセル構造パラメーターである極間距離 d , 液面高さ h , コンダクターロール・アノード間距離 l とアノード長さ L が漏れ電流に影響を及ぼすことが示唆された.

ここで, (6)式の妥当性を検討する. コンダクターロール・アノード間距離 l の増加は漏れ電流に対する液抵抗を増加させるので, またアノード長 L の減少は全電流 I を減少させるので, 漏れ電流を減少させることが予想される. (6)式はこの予想に合致している. 極間距離 d と液面高さ h の影響については導電紙法で検討した.

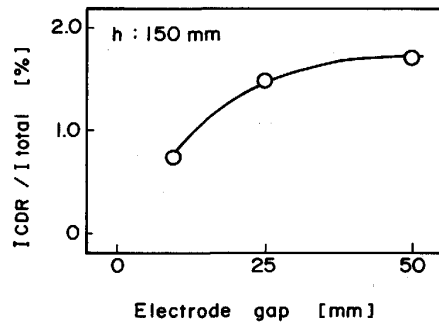
Fig. 8 と 9 に極間距離と液面高さの影響を示す. 極間距離と液面高さの増加はコンダクターロールに流れる電流を増大させた. これは(6)式に従っており, この(6)式でセル構造パラメーターと漏れ電流の関係を表せることがわかる.

3.2.2 小型めつきセルによるセル構造要因とめつき浴 pH の影響検討

本項では小型めつきセルを用いてめつき付着に及ぼすセル構造要因とめつき浴性状の影響をめつき付着量を実測することにより検討する. 前項の検討により三つの電界発生源, すなわちめつき付着発生源が予見されたが, アノード側面が絶縁されていないとめつき付着量が増大するのは明白であるので, ここではアノード側面を絶縁シールしておき, コンダクターロール・アノード間の接触抵抗とアノードからの漏れ電流に絞って検討した. めつき浴性状については 3.1 の検討により硫酸浴がめつき付着防止の観点から適切であると判断されたので, 硫酸浴での pH の影響に焦点を絞って検討した.

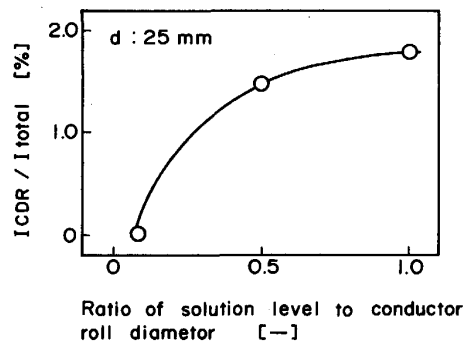
(1) コンダクターロールへのめつき付着状況

コンダクターロール・ストリップ間の電圧降下がコン



I_{CDR} : Current to conductor roll
 I_{total} : Total current in the model

Fig. 8. Effect of electrode gap on current to conductor roll measured by conductive paper method.



I_{CDR} : Current to conductor roll
 I_{total} : Total current in the model

Fig. 9. Effect of solution level on current to conductor roll measured by conductive paper method.

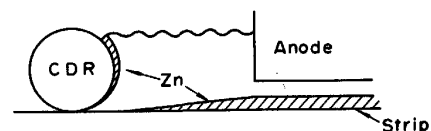


Fig. 10. Illustration of coating weight distribution.

ダクターロール圧下力 500 kg 以上の範囲では圧下力によらずほぼ一定になることを確認したので, 小型めつきセル実験では圧下力を 500 kg 一定とした. 75 A/dm^2 , 硫酸浴 (pH=4) の条件において, 冷延鋼板に 36 s 静止めつきを行つたときに観察されためつき付着状況を Fig. 10 に模式的に示した. めつき付着はストリップとの接触点近傍で全く観察されず, 10 数 mm 離れた位置から始まつた. さらに位置が上部になるとめつき付着は Fig. 10 に示すように増加した. ストリップとの接触点付近でめつき付着がなかつたことと, めつき付着を生じた部分でもストリップに近接する側で付着量が少なかつたことはコンダクターロール・ストリップ間の電圧降下に

起因するめつき付着が少ないことを示している。コンダクターロールの上部側にめつき付着が多かつた理由は、アノードから液面に向けて漏れた電流はコンダクターロールにのみ補集されるのに対し、ストリップに沿って漏れた電流はストリップに補集されてしまうためであると推定される。従つて、本実験のようにコンダクターロール・ストリップ間の電圧降下を低く保つた条件においては、めつき付着発生源は主としてアノードからの漏れ電流にあると言える。

(2) セル構造パラメーターとめつき浴 pH の影響

次に、ストリップを走行させた連続めつき実験でめつき付着に及ぼすコンダクターロール・アノード間距離と液面高さの影響を調べた。めつき付着量に及ぼすコンダクターロール・アノード間距離の影響を Fig. 11 に示す。コンダクターロール・アノード間距離が 200 mm のとき、めつき付着量は著しく多く、しかも pH が 1 と 2 とで付着量に差は生じなかつた。距離がさらに増加するとめつき付着量は急激に減少したが、400 mm 以上の距離ではその変化は緩やかになつた。400 mm 以上の距離では

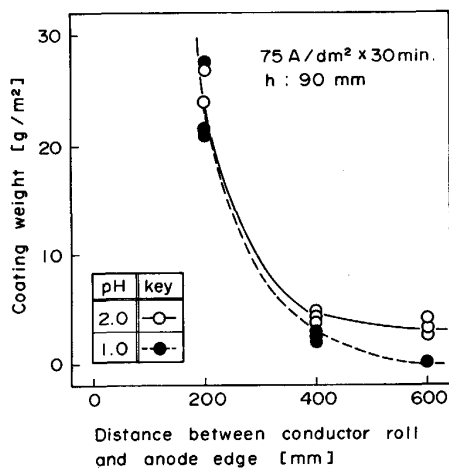


Fig. 11. Effect of distance between conductor roll and anode edge on coating weight on conductor roll.

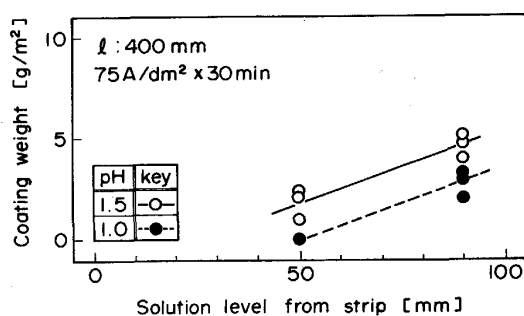


Fig. 12. Effect of solution level from strip on coating weight on conductor roll.

pH によるめつき付着量の変化が生じ、低 pH 条件でめつき付着量が減少した。

めつき付着量に及ぼす液面高さの影響を Fig. 12 に示す。液面高さが増すにつれてめつき付着量は増加した。また液面高さ一定の条件では pH の低下がめつき付着量を減少させた。

コンダクターロール・アノード間距離 400 mm、液面高さ 90 mm の条件下におけるめつき付着量の経時変化を Fig. 13 に示す。めつき付着は通電初期には起こらなかつたが、pH=2 では約 5 min 後に、pH=1 では約 13 min 後に始まつた。めつき付着開始後にはめつき付着速度は pH にあまり依存しなかつた。

上述した結果のうち、セル構造要因であるコンダクターロール・アノード間距離と液面高さがめつき付着に及ぼす影響は (6) 式で示した漏れ電流に対するのと同じ傾向を示した。このことは漏れ電流がめつき付着の主たる原因であるとした前述の推論を支持している。また、めつき付着量がめつき浴 pH を低下することにより減少する傾向を示したのは均一電着性の結果に一致する。均一電着性が本実験条件下では水素発生に支配されていることを考慮すると、水素発生を増加させる条件がめつき付着を減少させることが示唆される。従つて、めつき浴性状の観点からは水素発生電流の大きさに影響を及ぼす要因が、またセル構造の観点からは漏れ電流の大きさに影響を及ぼす要因がめつき付着の個別要因であると言える。

めつき付着の主たる原因がアノードからの漏れ電流であること、コンダクターロール上でのカソード反応が水素発生とめつき析出の競争反応になっていることを考慮すると、めつき付着現象は次の過程で起こると考えられる。漏れ電流がコンダクターロールに達することによりカソード反応が起こる。コンダクターロール上での電流

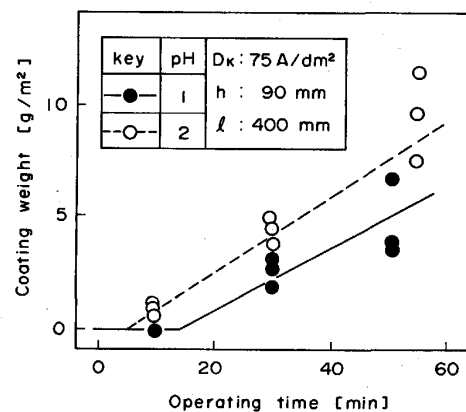


Fig. 13. Change in coating weight on conductor roll with operating time.

密度が水素発生の限界電流密度より低いときには、カソード反応として水素発生だけが起き、めつき付着は生じない。しかし、コンダクターロール上の電流密度が水素発生の限界電流密度を超えると亜鉛めつき析出反応が起き、同時に水素過電圧が上昇して水素発生が停止、または抑制されてカソード電流の多くがめつき付着に使用される。

3.3 めつき付着防止法の検討

本実験に用いためつきセルではめつき液 pH を 1 まで低下させてもめつき付着の防止が達成できなかつた。従って、めつき付着を防止するにはめつきセルの構造上の対応が必要である。コンダクターロールとストリップに近接して絶縁性のカバーを設置すれば、コンダクターロールに達する漏れ電流を減少させることができ、かつカバーによりシールドされた位置ではコンダクターロールに付着した Zn の化学溶解による除去が期待される。そこで、コンダクターロール・カバーを用いたコンダク

ターロール・シールド法によるめつき付着防止法を検討した。

小型めつきセルを用いた連続めつき実験で求めた、めつき付着量に及ぼすカバーの効果を Fig. 14 に示す。pH=2 ではカバーの取付けによりめつき付着量は取付け前に比べて約 1/20 に減少した。また pH=1 ではカバーの取付けによりめつき付着は完全に防止された。

コンダクターロール・カバーの設置によりめつき付着が防止可能であることが小型めつきセルを使用して確認できたので、次に実機セルによりその効果を検証した。電流密度 100 A/dm² の条件下におけるめつき付着量の経時変化を Fig. 15 に示す。めつき付着は 1.5 以上の pH 範囲で生じたが、pH=1 では長時間にわたって全く生じなかつた。これより、低 pH 化だけでは、高電流密度操業時、コンダクターロールにめつき付着を発生させるようなセル構造においても、コンダクターロール・シールド法を適用すれば、めつき付着の防止が可能となるがわかる。

4. 結 言

省エネルギーの観点から有利なダムロール・フリー水平型めつきセルにおけるコンダクターロール上へのめつき付着要因とめつき付着防止法を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) めつき付着発生の主たる原因はアノードからコンダクターロールに流れる漏れ電流である。
- (2) めつき付着支配要因は漏れ電流とコンダクターロール上での水素発生電流の大きさであり、前者の減少、後者の増大がめつき付着を低減する。
- (3) 漏れ電流の大きさに影響を及ぼすセル構造要因として、コンダクターロール・アノード間距離、液面高さ、極間距離とアノード長さがあることが見いだされた。コンダクターロール・アノード間距離の増大、液面高さの低下、極間距離とアノード長さの減少は漏れ電流を減少させる。
- (4) めつき浴側のめつき付着要因は浴組成と pH である。硫酸浴の低 pH 化は水素発生反応の増大を促し、コンダクターロールへのめつき付着を低減させた。
- (5) 低 pH 硫酸浴を用いるだけではめつき付着防止が困難な構造のセルでも、コンダクターロール・シールド法を併用することにより 100 A/dm² の電流密度でもめつき付着が防止できた。

文 献

1) 原 富啓: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 1221

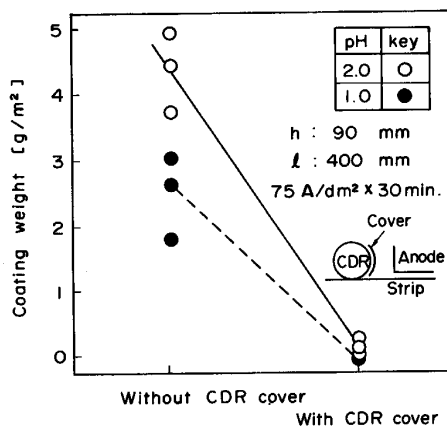


Fig. 14. Effect of conductor roll (CDR) cover on coating weight on conductor roll.

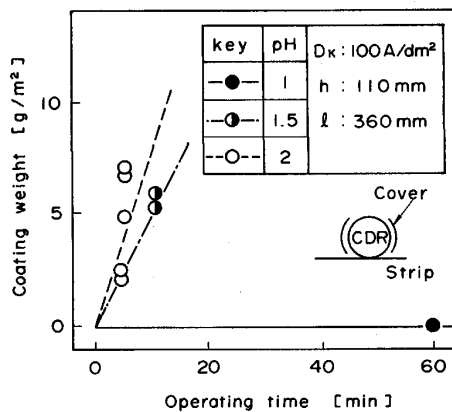


Fig. 15. Change in coating weight on conductor roll with operating time.

-
- 2) 酒井完五, 吉原良一: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 940
- 3) 松田 明, 吉原敬久, 宮地一明, 広岡靖広, 薦田 章,
木村 肇: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 1400
- 4) 酒井完五, 中野寛文, 吉原良一: 金属表面技術第 67 回講
演大会要旨集 (1984), p. 134
- 5) 川崎元雄, 小西三郎, 土肥信康, 中川 融, 林 忠夫,
光村武男: 実用電気めつき (1980), p. 232 [日刊工業新
聞社]
- 6) 高橋正雄, 増子 昇, 工業電解の化学 (1979), p. 269
[アグネ]
-