クロムフリー溶融亜鉛めっき鋼板"NSシルバージンク™QS2"に おける摺動性改良と他諸性能

Improvement of Sliding Property and Others Performance in Chromium Free Hot Dip Galvanizing Steel Sheet "DURGRIPTMQS2"

當安 健* 高丸弘毅 辻本康男 前田英司 Ken TOMIYASU Hiroki TAKAMARU Yasuo TSUJIMOTO Eiji MAEDA

抄 録

NS シルバージンク[™]QS2 はクロムフリー処理皮膜層によって広範な板金加工工程への適合性を付与, 汎用性を高めた溶融亜鉛めっき鋼板である。従来から無塗油プレスに対応するため皮膜層に潤滑材を含 有させるが,その副作用としてコイルつぶれやパイル崩れといった取扱い性の問題が深刻化している。 NS シルバージンク[™]QS2 ではプレス成形性と取扱い性とのバランス高度化を検討,その効果を検証し た。また,他性能についても併立を確認した。

Abstract

DURGRIPTMQS2 is a chromium free hot dip galvanized steel sheet which gives the compatibility to a various sheet metal processing processes carried out in a steel sheet user .The compatibility depends on the design of the surface thin film layer. Almost of conventional film layers have been containing lubricant to adapt to non-oiling press forming. However, the badness of the handling such as a coil collapse or sheet pile break by the slip, as the side effect of increased lubricity, is a serious problem. In this paper, the balance advancement between the press formability and compatibility to handling has been examined, and the effect of these examinations was inspected. In addition, other compatibilitys mentioned above were confirmed enough at the same time.

1. 緒 言

価格競争激化により家電製品の材料コスト低減が焦眉の 課題となった昨今,プレコート鋼板 (PCM) や電気めっき 鋼板から溶融亜鉛めっき鋼板へと材料を切り替える例が増 えている。代替材として溶融亜鉛めっき鋼板が選定される 理由としては,①家電製品デザイン,表面品質の割り切り, ②安価,③世界中で生産されており調達性が良い事等が挙 げられるが,一方で溶融亜鉛めっき鋼板の表面品質要求レベ ルが高くなる傾向や家電製造プロセスへの適性改善要請は 増加の一途である。

NSシルバージンク™QS2は図1に示す有機・無機系ク ロムフリー処理皮膜層を設ける事で,①防錆塗装の省略を 可能とする耐食性,②無塗油プレス加工を可能とすること で脱脂工程省略可能とする潤滑性,③スポット溶接等の抵 抗溶接性,④塗装される場合においても上塗り塗装密着性 と,鋼板ユーザーで行われている広範な板金加工工程への



図1 NS シルバージンク™QS の皮膜構成 (表裏面共に同じ構成)

Film composition of $\mathsf{DURGRIP}^{\mathsf{TM}}\mathsf{QS2}$ (front and back of the sheet are same)

適合性を付与,汎用性を高めた溶融亜鉛めっき鋼板である。

潤滑性は鋼板表面処理層に固形潤滑材を含有させる事 によって付与される。背景は 1995 年施行のフロン規制に より脱脂洗浄剤として広く浸透していたフロン系溶剤の使 用が制限された事であり,対策としての無塗油でプレス成 形に対応し脱脂工程自体を省略する考え方に基づく。一方 で付与された潤滑性が原因でコイルつぶれ,パイルの崩れ 等の取扱い性問題が発生した。写真1は陸送中にコイルが 巻き緩み到着直後に結束バンドが破断,深刻な危険事態の 直前まで至った例である。



写真1 コイルつぶれの事例 Coil collapse accident example

NS シルバージンク™QS2 の開発では特に潤滑性とその 副作用である取扱い性とのバランスの高度化を検討した。 また,上記その他性能についても併立を確認した。

2. 実 験

2.1 皮膜処理

皮膜層は皮膜成分を含有する液体を鋼板に塗布、乾燥し て形成する。液体に含有させる固形潤滑材の多くは水の他, 溶媒、他皮膜成分よりも低い表面張力を有する事から、塗 布,乾燥を経て皮膜表層に濃化する事が指摘されている い。 一方, 固形潤滑材の表層濃化を解消し皮膜中に分散させ ると、プレス成形時の高面圧摺動下では皮膜層が変形、流 動するため皮膜層内部の固形潤滑材が機能し、コイルやパ イルの取り扱い時の低面圧静止下では皮膜層が変形、流動 することなく皮膜層内部の固形潤滑材は機能しない事が期 待されるのである2)。固体潤滑材を皮膜中に分散させる方 法としては固体潤滑剤表面を化学修飾し表面エネルギーを 高める事で皮膜中に分散させることを検討した。写真2に 固形潤滑材に表面修飾を施し添加した例,写真3に表面修 飾なしで固形潤滑材を添加した例の皮膜層表面 Secondary Electron (SE) 像を示す。表面修飾した固形潤滑材は皮膜中 に埋もれている一方で表面修飾なしの固形潤滑材は表面に 露出している事が判る。

2.2 プレス成形性評価

2.2.1 プレス成形性評価方法

供試皮膜は固形潤滑材に表面修飾を施した皮膜(A)と 施さない皮膜(B),参考に潤滑性付与されていない皮膜 (C),更に参考に,皮膜Cの上に防錆加工油を塗布したサ ンプル(D)とした。サンプルの詳細を表1に示す。A,B,C, Dは何れも量産材であるが,何れも広く市場に出回ってい る事から,現象理解に必要な情報のみとし,規格は開示し ない。A は NS シルバージンク™QS2 である。

プレス成形は円筒成形を実施した。フランジのしわ押さ え力(F_{BH})を15kNピッチで増加させては成形を繰り返し, 材料破断が起こった時点で終了した。機械条件の詳細を表 2に示す。 潤滑性評価の基準となる基準潤滑条件での成形も実施 した。基準潤滑条件とはブランク両面をポリエステルテー プ貼付で保護した上から高粘度加工油を塗布する。基準潤 滑条件での成形荷重(F_p)とF_{BH}との関係を図2に示した。 F_{BH}に関わらず一定のF_pを観測した事から、基準潤滑条件





写真2 皮膜層表面の SE 像と断面イメージ 固形潤滑材に表面修飾を施した例 SE image of the film layer surface and section illustration Example which added solid lubricant with surface modify





写真3 皮膜層表面の SE 像と断面イメージ 固形潤滑材に表面修飾を施さなかった例 SE image of the film layer surface and section illustration Example which added solid lubricant without surface modify

表1 供試材の明細 Details of test materials

Coating	Lubricant (included in coating)	Plating layer (finish of substrate)	Sheet thickness mm	Steel class
А	Modified solid lubricant	Hot-dip galvanizing	0.6	Low carbon steel
В	Conventional solid lubricant	Hot-dip galvanizing	0.6	Low carbon steel
С	Not added	Hot-dip galvanizing	0.6	Low carbon steel
D	Coating C and anti-rust forming oil	Hot-dip galvanizing	0.6	Low carbon steel

表2 円筒成形条件の詳細 Press forming condition of cylinder drawing

Condition item	Details of condition
Punch specifications	Punch outer diameter: 50 mm, Radius of punch
	shoulder curvature R: 5 mm
Dice specifications	Dice inside diameter: 52mm, Radius of dice shoulder curvature R: 5mm
Forming condition	Diameter of steel sheet blanc: 90 mm (drawing ratio: 1.8)
	Rate of forming: 200 mm·min ⁻¹ , blank hold load: 15-150 kN

での F_p° は摩擦力の寄与を含まない正味の成形力とみてよい。 円筒成形で得られる F_p , F_{BH} , 及び F_p に相当するパンチ ストローク (s_p),および基準潤滑条件下の成形荷重 F_p° か ら摩擦係数の算出を試みた。図3に示す成形張力 (T)を正 味の成形力 (T°) とブランクホルダー摩擦力 (μF_{BH}) との和 として、ダイス肩に巻付角 (ϕ) にてしごきを受けるモデル 式を式 (1) に示す。



図2 基準潤滑条件での成形荷重 (F_p) としわ押さえ力 (F_{BH}) との関係

Relations with forming load($F_{\rm p}$) and the blank holding load($F_{\rm BH}$) in the comparison lubrication condition



図3 正味の成形力と摩擦力とから構成される成形張力モデル Forming tension model to separate a pure forming load and pure friction, and to reconstitute them

$$T = F_{\rm p} / \sin \phi^{\rm app} = \left(T^{\circ} + \mu F_{\rm BH}\right) e^{\mu \phi} \doteq \left(T^{\circ} + \mu F_{\rm BH}\right) \left(1 + \mu \phi\right)$$
(1)

見かけの巻付角 (ϕ^{app}) は図4に示す幾何学条件中の接 点ベクトルと共通接線ベクトルとの内積 = 0 から式 (2) と して導かれるが、実際の巻付角は材料剛性の影響を受ける ため式 (3) に示す補正を掛ける。以上から摩擦係数 (μ) は 式 (4) で導かれる。

$$\phi^{\text{app}} = \operatorname{asin}\left(\frac{2(R+t/2)(g+2R) + (s_p - 2R)\{(s_p - 2R)^2 + (g+2R)^2 - 4(R+t/2)^2\}^{1/2}}{(g+2R)^2 + (s_p - 2R)^2}\right)$$
(2)

$$\phi = \phi^{\operatorname{app}} \cdot \exp\left\{-0.10 \cdot T^{\circ}/(T - T^{\circ})\right\}$$
(3)

$$\mu = \frac{-\phi T^{\circ} - F_{\rm BH} + \{(\phi T^{\circ} + F_{\rm BH})^2 - 4\phi F_{\rm BH}(T^{\circ} - T)\}^{1/2}}{2\phi F_{\rm BH}}$$
(4)

但し, μ:摩擦係数, F_p:成形荷重, T:成形張力, T[°]:正 味の成形張力, φ^{app}:見かけのダイス肩巻付き角, φ:ダ イス肩巻付き角, s_p:最大成形荷重下パンチストローク, R:ダイス肩曲率半径=パンチ肩曲率半径, g:(ダイス 径-パンチ径)/2, t:ブランク板厚

2.2.2 プレス成形性評価結果

得られた結果を表3に示す。摩擦係数としわ押さえ条件





Geometric condition to decide the winding angle to dice shoulder

	Exa	mined	lubricat	ion con	dition	Con	nparison	lubrica	tion co	ndition			Resu	ilt of ca	lculatio	ons	
Coating	$\frac{F_{_{\rm BH}}}{\rm kN}$	$\frac{F_{\rm p}}{\rm kN}$	$\frac{s_{\rm p}}{\rm mm}$	$\frac{\phi^{\text{app}}}{\text{rad}}$	Forming	$\frac{F_{\rm BH}^{~~\circ}}{\rm kN}$	$\frac{F_{\rm p}^{\circ}}{\rm kN}$	$\frac{s_{p}^{\circ}}{mm}$	$\frac{\phi^{\text{app}}}{\text{rad}}$	Forming	$\frac{T_{\rm p}}{\rm kN}$	$\frac{T_{\rm p}^{\circ}}{\rm kN}$	$\frac{T_{\rm p}^{\circ}}{T_{\rm p} - T_{\rm p}^{\circ}}$	$\frac{\phi}{\mathrm{rad}}$	$\frac{F_{_{\rm BH}}}{T_{_{\rm p}}^{\circ}}$		μ mean±1 σ
А	30.0	29.4	15.8	1.47	OK	60.0	23.48	15.5	1.46	OK	29.6	24.0	4.4	0.94	1.2	0.124	0.127±0.003
А	45.0	32.6	16.9	1.48	OK	60.0	24.0	15.5	1.5	OK	32.7	24.0	2.8	1.11	1.9	0.132	
А	60.0	34.2	16.6	1.48	OK						34.4	24.0	2.3	1.2	2.5	0.125	
А	75.0	36.8	17.0	1.48	OK						36.9	24.0	1.9	1.2	3.1	0.127	
А	90.0	38.2	13.8	1.42	Break						38.6	24.3	1.7	1.3	3.7	0.124	
В	45.0	30.3	15.4	1.46	OK	60.0	24.0	15.5	1.5	OK	30.5	24.0	3.7	0.99	1.9	0.111	0.116±0.006
В	60.0	32.2	14.9	1.45	OK	60.0	23.8	15.5	1.46	OK	32.5	24.0	2.8	1.1	2.5	0.111	
В	75.0	35.8	15.5	1.46	OK						36.1	24.0	2.0	1.2	3.1	0.123	
В	90.0	37.4	17.0	1.48	Break						37.8	24.0	1.8	1.2	3.7	0.119	
С	15.0	29.1	17.2	1.48	Crease	60.0	24.3	15.5	1.46	OK	29.2	24.0	4.6	0.92	0.6	0.158	0.193±0.031
С	30.0	36.8	16.7	1.48	OK	60.0	23.7	15.5	1.46	OK	36.9	24.0	1.9	1.23	1.2	0.211	
С	45.0	40.0	12.6	1.37	Break						40.8	24.6	1.5	1.29	1.8	0.210	
D	25.0	30.4	16.0	1.47	Crease	60.0	24.3	15.5	1.46	OK	30.6	24.0	3.7	1.01	1.0	0.148	0.153±0.005
D	50.0	35.6	16.3	1.47	OK	60.0	23.7	15.5	1.46	OK	35.8	24.0	2.1	1.20	2.1	0.153	
D	60.0	38.1	15.8	1.47	Break						38.3	24.1	1.7	1.24	2.5	0.158	

表3 プレス成形実験結果と摩擦係数計算結果 Result of press forming and calculation result of the frictional coefficient

(しわ押さえ力/正味の成形張力)との関係を図5に示す。 AとBとは概ね同等の低い摩擦係数を示し,防錆加工油 を塗布したDよりも広いレンジのしわ押さえ条件で成形で きた。この事は皮膜A,Bが潤滑材として特に優れている 事を示している。潤滑性付与していないCについてはしわ 押さえ条件を厳しくすると摩擦係数が上昇する傾向があっ た。写真4に円筒成形後サンプルの塩水噴霧試験(SST) 48時間後の外観を示す。特にAは良好であるが,摺動の 過酷なフランジから縦壁部にかけて摩擦係数が高いほど顕 著な白錆発生が認められる傾向が判る。

以上のことから,固形潤滑材が皮膜層内部に分散して いても,皮膜表面に濃化していてもプレス成形性は良好 であることが判る。また,簡易な方法で縮みフランジ変形 下のダイス肩しごきによる摩擦係数を評価できる評価法を 考案し,上記結果が得られた事については手応えを感じ ている。



図5 摩擦係数としわ押さえ条件との関係 Relations between the frictional coefficients and the blank hold conditions



写真4 成形ワークの SST 48h 後外観 Appearance after SST 48h of the press forming works

2.3 取扱い性評価

2.3.1 取扱い性評価方法

実際のコイルで巻ずれ、コイルつぶれを再現する事で、 その挙動を把握する事、開発品と従来品との取扱い性差異 を検証する事を検討した。固形潤滑剤に表面修飾を施した 皮膜処理 A と施さない皮膜処理 B との2つのコイルを用 意した。これらのコイルは1つのコイルの前半後半で皮膜 処理 A, B を作り分けて2分割して得た。従って、皮膜処 理以外の基材(サイズ、機械特性、めっき層)は同一と考 えてよい。サンプルの詳細を表4に示す。

再検査ラインを使用してコイルの巻取張力を変更した。 写真5はコイルを巻き取った状態のペイオフリールである。 これを利用したコイルの吊り下ろしに相当する衝撃印加の 手段として,マンドレルを収縮させ(吊った状態),引き続 きコイルカーを上昇させる(下ろした状態)ことで実施した。

2.3.2 コイルつぶれの評価

衝撃印加後にコイル内径とスリーブとの間隙を隙間ゲージで測定し,式(5)に示すコイル内径変形量を評価した。

コイル内径変形 (
$$\Delta d$$
) = 横径 – 縦径
= ($g_{\rm U} + g_{\rm B}$) – ($g_{\rm L} + g_{\rm R}$) (5)
但し,スリーブ/コイル内径間隙 (上/ $g_{\rm U}$,下/ $g_{\rm B}$,
 $E/g_{\rm I}$, $E/g_{\rm R}$)

内径変形(コイルつぶれ)と巻取り張力との関係を図6 に示した。内径変形が発生する巻取張力はAとBとで差 が無く,*T*<20MPa領域である。この事から摩擦係数は内



写真5 コイルに衝撃を印加する方法 ペイオフリールを用いてマンドレルを収縮させた状態でコイ ルカーの上下動によって実施

Method to impact on a coil It was applyed with a payoff reel by the mandrel shrinkage and coil car up-and-down motion.

表4	供試材の明細
Details	of test materials

Coating	Lubricant (included in coating)	Plating layer (finish of substrate)	Sheet thickness mm	Width mm	Steel class	Coil weight ton
А	Modified solid lubricant	Hot-dip galvanizing	0.6	1 2 2 0	Low carbon	10
В	Conventional solid lubricant	Same as A	Same as A	Same as A	Same as A	10

径変形の直接要因ではなく、内径変形に至る巻緩みの過程 を支配する要因である事が判る。また、図6の左右は夫々 コイルに衝撃を印加した場合と印加しない場合とである が、起こるべき内径変形は衝撃印加で誘発される点が見え るのみで、やはりAとBとでの有意差は認められない。

写真6に8回の衝撃印加した後の巻ずれの様子を示す。 AもBも予め動径方向にマークした直線が8回の衝撃付与 によって内周,外周夫々8周の巻ずれ発生が確認される事 から,1回の衝撃で1周ずつずれた事が判る。一方でBに 比べてAの方で小さいずれ代が観測される事から,摩擦 係数の高いAの方が1回のずれにおける張力低下代が小さ い事が判る。

以上の事から摩擦係数を高める事は巻ずれ1回あたりの 張力低下代が小さくなる点で取扱い性対策として有効であ る。注意したいのは摩擦係数を高めてもコイルつぶれが起 こる限界張力が変わらない事である。

2.3.3 解析

巻ずれによる歪変化を計測して張力を求める事を検討し た。巻ずれ前後の張力からの摩擦係数算出を試みた。

歪変化による張力変化を定量するために,動径方向に直 線マーキングしたコイルを張力変更しては巻き直し,動径 マーキングの移動を追跡する事で張力-歪関係のスケーリ ングを実施した。歪変化は**写真7**に示すような座標系で画



図6 コイルつぶれ状況と巻取り張力との関係 左:マンドレル収縮後,右:更に衝撃印加後 Relations between coil collapse and the rewind tension Left: After the mandrel shrinkage, Right: Furthermore, hang it, and unload it (these impacts were applyed)



写真6 8回の衝撃印加で起こった巻ずれの様子 (T=19.2MPa) Slip gap that was caused by 8 times of impacts (T=19.2MPa)

像解析を行い,式(6)で求めた。得られた張力-歪関係を 図7に示す。張力と歪との関係は概ね直線性が得られ,直 線の傾きである弾性率(E = 15000MPa)は鉄鋼材料値イ メージの1/10程度の小さな値を示した。正味の材料伸び 歪が1割程度であり残り9割はコイル内間隙の充填率変化 が動くと考えられる。この関係を用いれば,写真8に示す 同様の座標系を導入して,衝撃付与による巻ずれ前後の張 力も求めることができる。







図7 コイル内張力と歪との関係

Relations between rewinding tension and circumference strain



写真8 巻ずれによる動径マーキングの移動と画像解析座標 Movement of the radius vector marking (black mark) by slips and image analysis coordinate

$$\Delta \sigma = \frac{t \cdot d\theta}{2\pi dr} = \frac{t \cdot \arccos\left[\left(x_{o} \cdot x_{i} + y_{o} \cdot y_{i}\right) / \left\{\left(x_{o}^{2} + y_{o}^{2}\right)^{1/2} \cdot \left(x_{i}^{2} + y_{i}^{2}\right)^{1/2}\right\}\right]}{2\pi\left\{\left(x_{o}^{2} + y_{o}^{2}\right)^{1/2} - \left(x_{i}^{2} + y_{i}^{2}\right)^{1/2}\right\}}$$
(6)

摩擦係数を算出するための巻ずれ伝播モデルを図8に示 す。このモデルでは緩和前摩擦力と滑り出した周の引き摺 り張力とがつり合う点で停止する考え方であり、式(7)の ように表現できる。

 $T_{\rm f0} = T_0 \cdot (e^{\mu\phi} - 1) = T + T_{\rm f} = T \cdot e^{\mu\phi}$ (7) (E)

巻ずれ前引き摺り張力 $T_0 + T_{f0} = T_0 \cdot e^{\mu\phi}$ (8) 巻ずれ中引き摺り張力 $T + T_f = T \cdot e^{\mu\phi}$ (9) T_0 :初期張力, T_{f0} :初期張力による摩擦力, T:緩和 (巻ずれ後)張力, T_f :緩和張力による摩擦力, ϕ :巻 付き角

式(7)を解き摩擦係数を求めると式(10)が得られる。



図8 巻ずれ伝播モデル(摩擦係数と張力緩和代との関係) Model describes the tensile relaxation which depends on the friction

但し,巻ずれは1周ずつ進行する事から巻付角 $\phi = 2\pi$,摩 擦は表裏の2面で発生するため,摩擦係数= 2μ とした。

$$2\mu = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{T}{T_0 - T}\right) \tag{10}$$

表5に再検査ラインで実施した巻取り張力変更で観測された歪,巻ずれ部で観測された歪から逆算した張力及び摩擦係数計算値を示す。摩擦係数はAが0.18,Bが0.10となった。固体潤滑剤の表面濃化を解消し,皮膜中に分散させる対策が取扱い性改善に有効である事が実物のコイルで検証できた。

得られた摩擦係数,弾性率を用いて繰り返し衝撃による コイル内張力変化をシミュレートした。シミュレーション 条件を表6に示す。

動径マーキングが巻ずれにより移動していく様子につい てのシミュレーション結果を図9,図10に示す。巻ずれを 起こす20MPa未満の張力部位を赤線で、20MPa以上の張 力が保持されている部位を青線で示した。Bでは72回の 衝撃履歴で内外周からコイルつぶれ危険張力に至るのに対 して,Aでは360回と大幅な改善が認められた。取扱い性 の指標値としてコイル内摩擦係数、1回の巻ずれによる張 力保持率、コイルつぶれ発生吊り降し回数の値を表に示し た(表7)。

工場外でのコイル搬送は梱包後結束バンドで固定される ため、検討した条件よりも多かれ少なかれ有利な条件であ る事は間違いなく、おそらくコイル剛性が増加しコイル内 張力変動が小さくなる事で衝撃による巻ずれの確率が低下

表5 コイル取扱いテストの結果と解析結果 Result of the handling coil test and its analysis

Result of th	e handling o	oil test			Result of analysis	s					
Test No.	Sample	$\frac{T}{1}$	Impact	$_ \Delta d _$	Collapse	Object domain	*	N*	T	<u>σ</u>	μ
		MPa		mm	Judgement	-	m	number	MPa	Tatio	
1-1	В	10.0	Did not	12.4	NG						
1-2	В	15.8	Did not	-0.4	OK						
1-3	В	15.8	Applyed	4.8	NG						
2-1	В	10.0	Did not	-0.4	OK						
2-2	В	10.0	Applyed	15.1	NG						
2-3	В	13.4	Did not	-	OK				11.3	7.4E-4	
2-4	В	13.4	Applyed	38.9	NG						
2-5	В	19.2	Applyed	-2.3	OK	Overall length	422.9	1-187	18.9	1.2E-3	
	↑		Ť	↑	↑	Sliped domain		179 - 187	14.8	9.7E-4	0.10
		Mean prop	erties of "B"								0.10
1-4	А	9.6	Did not	4.5	NG						
1-5	А	14.8	Did not	-0.2	OK						
1-6	А	14.8	Applyed	4.5	NG						
2-6	А	9.6	Did not	-1.5	OK				7.4	4.8E-4	
2-7	А		Applyed	38.8	NG						
2-8	А	12.4	Did not	2.3	OK	Overall length	389.2	1 - 174	14.9 ± 0.4	9.7±2E-5	
2-9	А	12.4	Applyed	20.3	NG	Sliped domain		170-174	13.5	8.9E-4	0.19
2-10	А	19.2	Applyed	4.7	OK	Overall length	368.4	1 - 166	18.9	1.2E-3	
↑	↑		1	Ŷ	↑	Sliped domain		160 - 166	16.9	1.1E-3	0.17
		Mean prop	erties of "A"							0.18 ± 0.03	

* L: Length of rewinding, N: Number of rewinding

表6 繰り返し衝撃下のコイル張力緩和シミュレーション条件 Simulation conditions of rewinding tension relaxation by apllying repeating impacts

Item of conditions	Details	s of conditions								
Specifications of										
model coils		Coating	$\frac{t_{\rm s}}{\rm mm}$	$\frac{w_{\rm s}}{\rm mm}$	$\frac{m_{\rm c}}{\rm ton}$	$\frac{2r_0}{\text{inch}}$	$\frac{T_0}{MPa}$	E MPa	μ	_
	-	А	0.6	1 0 0 0	10	20	34.4	15 034	0.18	•
	-	В	1	1	1	1	1	↑	0.10	-
		* t_s : Sheet th T_0 : Initial	tension, E :	Sheet width, Elastic modulu	$m_{\rm c}$: Mass of as (Fig. 6), μ	the coil, $2r_0$: Frictional co	Inside diamet efficient (Tab	er of the coil, le 5)		•
Calculation	Rew Rep Slip Tens Phas Coo Slip The	vinded number eated number after number after e sion after reper $T_{ij} = \left(\frac{e^{4\pi y}}{e}\right)^{2}$ se anglar positi $\theta_{ij} = 2\pi \sum_{i}^{j}$ rdinate system $\begin{cases} x_{ij} = (r_{0} \\ y_{ij} = (r_{0} \\ starting point: biggest tension) \end{cases}$	(radius posi of applyed in repeated imp ated slips $\left(\frac{4-1}{4\pi\mu}\right)^{k_{ij}}T_0$ ion after repo is $\left(\frac{T_0-T_{ij}}{E}\right)^{k_{ij}}$ to trace the $+i \cdot t) \cdot \cos(t)$ $+i \cdot t) \cdot \sin(t)$ innermost point	tion) : $i = 1$ npacts : $j = 2$ acts : $k_{ij} = 2$ eated slips slip gaps (θ_{ij}) $\theta_{ij})$ eripheral and t apse: 20 MPa	, 2,, <i>I</i> l, 2,, <i>J</i> Integer (<i>J/I</i>) he outermos	t peripheral po	$s(J/I) \ge i, 1, 0$	0)		



図9 供試材 A における繰り返し衝撃下での巻ずれ分布推移 Change of slip gap deistribution on "A" after repeated impacts



図 10 供試材 B における繰り返し衝撃下での巻ずれ分布推移 Change of slip gap deistribution on "B" after repeated impacts

表7 コイル取扱い性特性値 Index-value of handling a coil

Coating	Frictional coefficient	Tension retention by a slip	The number of repeating impact until coil collapse		
А	0.18	81%	360		
В	0.10	52%	72		

すると考えられる。量産コイルに動径マーキングをいれて 実際のデリバリーの履歴で如何なるかの定量的追跡調査は 今後の課題である。滑りやすい鋼板の取扱いについては顧 客の努力と工夫で問題は鎮静化している面がある事は承知 であるが、本技術投入後から取扱い性問題が聞こえてこな い事も事実である。

2.4 プレス成形性と取扱い性とのバランス

プレス成形性付与と取扱い性悪化とは要因が固形潤滑 材であり同一であるため、基本的にはトレードオフである。 図11に固形潤滑材が皮膜層内に分散したAと表層濃化し たBとのコイル取扱い下摩擦係数とプレス成形下摩擦係数 との関係を示す。プレス成形下摩擦係数はAとBとで大 差ないが、コイル取扱い下摩擦係数はAが大幅に高くなっ ており、Aでは明らかに両性能のバランス改善が認められ る。というのも、表にプレス成形下とコイル、パイル搬送 下との摺動環境イメージを整理したが、結局、プレス成形 下では皮膜層内部の性質、コイル、パイル搬送下では皮膜 表層の性質が摺動性支配要因となることで本来はトレード





Relations between two kinds of frictional coefficients, vertical axis relates to handling and the horizontal axis relates to forming

オフ関係にある両性能のバランスを変えることができると 考えられる(**表8**)。

2.5 その他性能

NS シルバージンク™QS2 の耐食性,スポット溶接性, 上塗り密着性について評価した。評価条件を表9に示す。

写真9にSST72時間後のサンプル外観を示す。平板部 は5%を超える白錆発生なく,加工部,傷部においても白 錆発生は抑制されており,良好な耐食性を示した。

図12にスポット溶接ナゲット径と溶接電流との関係を 示す。ナゲット形成電流とちり発生電流との間の適正電流 レンジが充分にとれ、スポット溶接対応可能である事を確 認した。

写真10に上塗り密着試験後の剥離テープ外観を示す。 1次密着性,耐水2次密着性共に良好な結果が得られた。

3. 結 言

以上のように,NSシルバージンク™QS2では,①耐食 性,②潤滑性,③スポット溶接性,④上塗り塗装密着性と, 鋼板ユーザーで行われている広範な板金加工工程への適合 性を高度に付与し,汎用性を高めた溶融亜鉛めっき鋼板で ある。特に潤滑性付与の副作用である滑りによるコイルつ ぶれ,パイルの崩れ等の取扱い性問題を対策すると同時に, 無塗油プレス成形性とのバランスを高度化できた。

今後も更に使いやすさを追求する研究開発を継続する。

参照文献

Matsuda, T., Kubota, T.: GALVATECH'07. 2007, p. 745-750
 高橋克,吉田究,壱岐島健司: CAMP-ISIJ. 9, 1426 (1996)

Item of consideration	Under press forming	Under handring acoil (or a sheet pile)			
Aspect pressure	300 - MPa (plastic flow stress of substrate)	0.01 - 0.3 MPa (0 - 3 MPa)			
Phenomenon of the load	Relaxation of the contact stress by substrate plastic flow (300 - MPa)	Relaxation of the contact stress by the compression elasticity of the film layer (-50MPa)			
	Substrate Coating layer metallic mold	Substrate Coating layer Substrate			
Chenge of coating layer	Film squeezed out fills up the surface coarseness of substrate Film layer intervenes under the high aspect pressure that surpassed films plastic flow stress	Topological immutability			
Sliding surface	Inside of the film layer	Surface of the film layer			

表8 プレス成形下とコイル,パイル取扱い下とでの摺動条件の違いについての小考察 Small consideration about the slide interface under press forming and under handring acoil or a sheet pile

表9 他諸性能の評価方法

Method of evaluation test for the other compatibilitys

Item of evaluation	Detail of evaluation testing method
Corrosion-resistance	<u>Corrosion accelerating environment</u> : SST (JIS Z 2371) <u>Additional corrosion factor by the usages</u> 1 Bulging: Fricksen method at 7 mm hight (added to the half bottoms of the test peace)
	 2. Scratch wound: Cross cut reaches the steel substrate (added to the half bottoms of the test peace) 3. Cutted endface: Protection with the polyester tape seal <u>Evaluation</u>: Corrosion appearance after SST 72 h continuation
Spot weldability	Spot welder specification Welder: "C" type
	Welding power supply: AC 200 V/60 Hz
	Electricity schedule: Squeeze/5 cycle and electricity/10 cycle and hold/1 cycle Running in welding: 50 times with cold rolled steel sheet at the current of 6kA
	Conditions of electricity: 5 - 15kA (until fusion-bonding of tip with material, at suitable distances) <u>Measurement</u> : Break strength and nugget diameter of the shear specimen by the spot welding Evaluation:
	1. Nugget formation electric current (nugget diameter (D_n) of the $4\sqrt{t}$ equivalency) 2. Spark outbreak electric current
	5. Appropriate current range between nugget formation and spark outbreak
Compatibility as a painting sustrate	<u>Orver coat painting</u> Paint: melamine-alkyd resin coating (GLIMIN #500 WHITE product of SHINTO PAINT CO., LTD.) Orvercoat thickness: $25 \mu m$, curing condition: $120^{\circ}C \times 25 min$ Evaluatin
	Adhesion with over coat: Cross cut test (10×10) Primary test: As painted sheet Waterproof test: After immersion in boiling water for 1 h



写真9 SST 72h 後の供試材外観 Apearance of test peace after SST 72h



図 12 スポット溶接ナゲット径及び溶接現象と溶接電流と の関係

Nugget diameter and welding phenomena with the variety of electric currents



写真 10 上塗り密着試験後の剥離テープ外観 Appearance of peeled tapes after cross cut test



富安 健 Ken TOMIYASU 鹿島製鉄所 品質管理部 薄板商品開発室 主幹 茨城県鹿嶋市光3 〒314-0014



高丸弘毅 Hiroki TAKAMARU 和歌山製鉄所 薄板部 薄板技術室 主査



辻本康男 Yasuo TSUJIMOTO 和歌山製鉄所 薄板部 薄板技術室 主査 (現在 派遣社員),現代の名工



前田英司 Eiji MAEDA 和歌山製鉄所 薄板部 薄板工場 主任