高濃度亜鉛末塗料について*

福 谷 英 二**

Zinc Rich Paint

by

Eiji FUKUTANI

(Nakagawa Corrosion Protecting Co., Ltd., Tokyo)

1 ま え が き

高濃度亜鉛末塗料は、絶縁性の有機塗料がその塗膜にピンホールや傷があるとき、その欠陥部が強い局部陽極となつてはなはだしく侵されるのとは異なり、それらの欠陥部よりもなお陽極的な亜鉛粒子の電気防食作用によって、これらの欠陥部を保護するところのまったく異なる機能を持った塗料である。鋼に対して電気防食作用を持つ金属としてはマグネシウム、アルミニウム、亜鉛があるが、前二者はあまりにも活性であるため、その粉末表面を電気抵抗の高い酸化皮膜でおおわれてしまうため、この目的に不適当であることは表 I¹⁾ に示すとおりである。亜鉛粉末は電気防食作用を持

表 I 金属粉末を顔料とした塗膜の導電率

粉末の種類		乾燥塗膜中の顔料含有率 (%)		電流 (μA) (4V において)
		重 量	容 積	
アルミニウム	微 粉	71	50	0
	粗 粉	90	80	0
マグネシウム	A	91	87	0
	B	91	87	1
亜 鉛	A	96	80	34
	B	96	80	34

図1 PVC と塗膜の電気抵抗

つ唯一の顔料といってよいが、亜鉛末を用いてもその含有率が小さいときは電気抵抗が高くなってその目的を達することが困難となる。Mayne は図1に示すように、乾燥塗膜中の亜鉛の含有率が重量で90%以下となれば、電気抵抗が急激に増加し電気防食効果が無くなるため、高濃度亜鉛塗料は乾燥塗膜中に重量で亜鉛を90%以上含有するものと定義した。しかし、塗膜の電気抵抗は使用する亜鉛末の形状、粒度や展色剤の種類によって異なるが、Elm³⁾ や Eloyd⁴⁾ の最近の研究では、図2に示すように、電気抵抗の最低な亜鉛含有率

亜鉛の PVC または PWC (%)

図2 PVC, PWC と塗膜の電気抵抗

は重量で約85%となっている。なお、電気抵抗や塗膜性能には重量% (PWC) よりも容積% (PVC) のほうがより関係が深いと思われるが、電気抵抗を最小にさせる PVC は、図2に示すように約60%である。したがって、今後は高濃度亜鉛塗料は乾燥塗膜中に金属亜鉛を容積で60%以上含むものと定義を改めるがよいと思う。

Mason⁵⁾ の有機展色剤を用いた亜鉛塗料の試験成績は表IIに示すように、工業地帯暴露環境で PVC 60%以上の場合にきわめて好成绩を示しているが、これからも高濃度亜鉛塗料の新定義は適当であると思われる。金属亜鉛の PVC は展色剤の量、顔料中に添加する不

* 原稿受理 昭和43年3月18日

** 中川防蝕工業(株) 東京都千代田区神田鍛冶町

表Ⅱ 亜鉛の PVC と塗膜試験結果

(1) 塗料の種類	乾燥塗膜中の含有率(%)		ASTM 評 点						
			海 水 浸 漬		苛 水 浸 漬		工 業 地 帯		端 防 食 ⁽²⁾
			ふ くれ	さ び	ふ くれ	さ び	ふ くれ	さ び	
E. E	85	45.9	3D	6	9F	9	8MD	4-2	P
P. U	85	47.7	0	4	0(UFC)	0	6M	4-2	P
E. C	85	47.9	1D	6	0(UFC)	4	9M	4-2	P
E. E	87	50.1	—	—	—	—	9M	4-2	P
P. U	87	51.9	1D	4	0(Pe)	4	10	7-1	P
E. C	87	52.1	1D	6	0(Pe)	6	10	7-1	P
C. R	85	54.6	4D	4	3D	6	10	8-1	F
C. R	87	56.3	3D	4	3MD	6	10	9-1	F
E. E	90	57.4	1D	6	—	—	10	9-1	F
P. U	90	59.1	1D	6	0(Pe)	6	9F	9-2	F
E. C	90	59.4	1D	8	3MD	8	10	10-1	F
E. E	92	63.2	—	—	6MD	7	10	10-1	F
P. U	92	64.9	3D	7	4MD	6	10	10-1	G
E. C	92	65.1	3D	8	5MD	9	10	10-1	E
C. R	90	65.6	4D	6	6MD	6	10	10-1	G
C. R	92	70.9	6D	9	7MD	9	10	10-1	G
E. E	95	74.0	—	—	—	—	10	10-1	G
P. U	95	75.3	5D	7	6M	9	10	10-1	G
E. C	95	75.5	3D	7	4F	9	10	10-1	G
C. R	95	80.1	6D	10	10	10	10	10-1	E

(1) E. E=エポキシ, エステル
P. U=ポリウレタン
E. C=エポキシ, カタライズド
C. R=塩化ゴム

(2) P=Poor
F=Fair
G=Good
E=Excellent

UFC=膜下腐食
Pe=はく離

活性顔料の量などによって調整可能である。

塗膜中の亜鉛粒子は電気防食作用によって消耗するが、しかし際限なく消耗するわけではない。塗膜の欠陥部は亜鉛の腐食生成物である水酸化亜鉛や塩基性炭酸亜鉛によってふさがれ、欠陥部は自然に補修されるので、また新しい傷ができるまで亜鉛の消耗は止まり、亜鉛が迅速に消耗されることはない。高濃度亜鉛塗料が比較的薄い膜厚で寿命が長いのはそのためである。

亜鉛塗料は展色剤の種類によって有機系と無機系に大別され、乾燥塗膜中における有機物質の有無によって区別される。塗料の性能は有機、無機ともに使用する展色剤によって相当に異なるから一率に述べることはむづかしいが、一般的な性能比較を表Ⅲに示す。

用途は一般に有機系は大気中の構造物の防食塗装またはプライマーに適し、無機系のものは耐水、耐油、耐溶剤、耐高温などの防食塗装あるいは各種環境におけるプライマーとして用途が広い。

高濃度亜鉛塗料をプライマーとして使用し、その上に有機絶縁塗料の上塗を併用すれば、両者それぞれを単独に使用する場合の有効寿命の2～10倍となることが報じられている。なお、高濃度亜鉛塗料をプライマ

表Ⅲ 有機系と無機系の亜鉛塗料性能比較

	利 点	欠 点
有機系亜鉛塗料	表面処理かやや簡単 施行が一般に容易 天候や季節にあまり影響されない 硬化が温度、湿度にあまり影響されない 塗装後処理が不要 耐屈曲性が比較的よい 耐薬品性がややよい	溶剤が引火性である 耐候性が一般に弱い 浸漬状態でふくれを生じやすい 溶剤に弱いものが多い 高温に耐えない(150℃以下) 耐熱ショック性が悪い 利用できる亜鉛率がやや小さい
無機系亜鉛塗料	塗膜が電気伝導性で亜鉛はケイ酸と化学結合するものがある 鉄とケイ酸鉄を作り耐食性、密着性かよい 耐候性がよい 高温に耐える(約400℃) r線や中性子線に強い 耐水性、耐溶剤性が大 耐摩耗性大 熱ショックに耐える 利用できる亜鉛率大	ケイ酸ソーダ系 前処理がきわめて嚴重 有機物で表面がよこれているときは密着が悪い 硬化温度7℃以上、湿度70%以下 屈曲性はやや不良 ケイ酸エチル系 前処理がやややかましい 有機物で表面がよこれているときは密着が悪い 屈曲性はやや不良 溶剤や展色剤が引火性である

ーとするときは、上塗りが劣化して塗換えをするときも塗換施行時期を誤らなければ、サンドブラスト処理

を省略⁸⁾できる。しかし、高濃度亜鉛塗料をプライマーとして塗装する場合、とかく溶断、溶接について問題視されがちであるが、膜厚に留意して 20 μ 以下に保てば問題はない。

2 高濃度亜鉛塗料の種類

2・1 有機系高濃度亜鉛塗料

有機系高濃度亜鉛塗料には油性以外の各種の展色剤が用いられる。この塗料は、亜鉛の電気化学的反應によってアルカリ性が強くなるので、油性展色剤の使用は適当でない。展色剤のおもなものはエポキシ、塩化ゴム、合成ゴム、ポリウレタン、ポリスチレンなどであるが、その組成の詳細は各メーカーが秘密としているため明らかでない。数例を表Ⅳに示す。

塗料の性質は展色剤の性質に著しく左右される。その性能の概要を表Ⅴ¹⁰⁾に示す。

用途はそれぞれの性能によって定められるが、最も広く用いられているものは、エポキシポリアミド硬化型またはエポキシアミン硬化型のもので、造船用ショッププライマーとして大量に用いられている。従来ショッププライマーとしてはウオシプライマーが多く用

いられていたが、これらは長期の暴露に耐えないで、上塗前に広範囲の再処理を要する欠点を持っていたが、オランダの造船所でエポキシポリアミド型の高濃度亜鉛塗料を S. S. Ondina の¹¹⁾¹²⁾ ショッププライマーとして大量に試用して大成功を収めて以来、世界各国の造船所でショッププライマーとして広く用いられるようになった。ただし、Ondina 1 年間就航後の実績によれば、大気暴露部の成績はきわめて良好であったが、没水部では相当ふくれが出たので耐水性のシーラーコートの中塗りする必要があることが明らかとなった。

有機系高濃度亜鉛塗料は一般に大気暴露鉄鋼構造物のプライマーまたは防食塗料として適当である。

2・2 無機系高濃度亜鉛塗料

展色剤の種類によって、ケイ酸ソーダ系、ケイ酸エチル系、リン酸塩系、塩化マグネシウム系、ブチルタネート系などに分かれているが、主として用いられているのは前二者である。

2・2・1 ケイ酸ソーダ系高濃度亜鉛塗料 ケイ酸ソーダを展色剤とする亜鉛塗料は、Von Fuchs によって1850年に始められたが、実際に商業ベースに乗っ

表Ⅳ 有機系亜鉛末塗料の組成例 (重量%)

展 色 剤	種 類 No.	ポリスチレン		塩 化 ゴ ム		異 性 化 ゴ ム		ポリメチルメ タクリレート	エポキシ
		1	2	1	2	1	2		
	(%)	3 2	3 1	2.65	3.5	3 4	3.1	3 3	4.4
可 塑 剤 (%)	クロリネート、ジフェニール ジブチル、フタレート ペンタ、リンシード、アルキ ッド	1.1	1.0		1 2	1.1		1.1	
	クロリネート、パラフィン			1.75			1 3		
溶 剤 (%)	ホワイト、スピリット					9.2	10.7		
	キ シ レ ン	15 0	16 0	11.7	8 0			10.8	
	トル エ ン メチル、イソブチル、カービ トール								5.9 5 9
亜 鉛 末 (%)		86.7	79.9	83 9	87 3	86 3	84 9	84 3	83.8

表Ⅴ 有機系亜鉛塗料の性能

展 色 剤	長 所	欠 点	おもな用途
エポキシ (アミンまたはポリアミド 硬化)	密着性大、耐油性大、耐溶剤性大、速乾性、 機械強度大、耐候性良、耐水性やや良	やや高価	造 船 用 ショッププライマー
エポキシ、エステル	密着性大、可撓性大	耐水性大、耐アルカリ性小、乾燥ややおそい	自 動 車 用
エポキシ、メラミン	機械強度大、耐油性大 耐溶剤性大	焼付けを要す、可撓性劣る	焼 付 け 専 用
ポリウレタン	耐水性やや大、耐油性大、耐溶剤性大、耐摩 耗性大、速乾性	高価、硬化前有毒 亜鉛包容力が小さい	特 殊 用 途 タンカー
塩 化 ゴ ム 異 性 化 ゴ ム	耐水性やや良、耐候性良	耐溶剤性不良 厚塗りを要す	船舶補修塗用
ポリスチレン	比較的安価、貯蔵性良、速乾性	耐溶剤性不良、耐水性やや不良、可撓性劣る	一 般 用 (大気暴露用)

2・2・3 無機系高濃度亜鉛塗料の耐薬品性

(1) 使用適当のもの：炭化水素系ガス（含 LPG）、トルエン、キシレン、特記以外のベンゼン類、砒油類、アルコール類、エチレングリコール類、グリコール類、エーテル類、ケトン類、フタレート類、セロソルブ類

(2) 使用不適のもの：アミン類、アセテート類、アルデハイド類、クレゾール、クレオソート、フォルマリン、フェノール、無機酸類、有機酸類、動植物油類、トリクロールエチレン、メルカプタン、クロロベンゼン、ニトロベンゼン、pH 12 以上の液

3 高濃度亜鉛塗料の塗装法

3・1 塗装前処理

すべての塗装に塗装前の処理はきわめて重要な要素であって、塗装の寿命を左右する因子である。Doolittle⁸⁾は塗装寿命と前処理との関係を広く調査し、同様な環境に同様なビニル塗装を行なった場合でも、前処理がワイヤブラストの場合には塗膜寿命 6 年以下、コマーシャルブラスト程度の前処理を行なえば 8 年以下、ホワイトメタルブラストした場合には全部 9 年以上の塗膜寿命であることを報じている。前処理を厳重に行なうことによって塗膜寿命が延び、結局経済性を増すことはどの塗料に対してもいえることであるが、特に高濃度亜鉛塗料の場合に前処理が不適当なときは塗装後数ヶ月で失敗を生ずることが多いから留意を要する。

ケイ酸ソーダ系亜鉛塗料には絶対にホワイトメタルブラスト処理（SSPC-SP5-63¹⁵⁾、スウェーデン写真判を基準 Sa3¹⁶⁾）が必要である。自然硬化型に限っては、ニヤホワイトブラスト（SSPC-SP10-63 T、スウェーデン基準 Sa 2 1/2）でもよいといわれているが、充分とはいえない。

ケイ酸エチル系亜鉛塗料と有機系高濃度亜鉛塗料はコマーシャルブラスト（SSPC-SP 6-63、スウェーデン基準 Sa 2）または酸洗い処理（SSPC-SP 8-63）でもよい。

ブラスト処理を行なうには一般塗料の場合と同じ注意が必要である。注意事項は次のとおりである。

3・1・1 ブラスト上の注意事項

(1) 油やグリースの厚たい積層は溶剤洗浄（SSPC-SP1-63）に規定された方法であらかじめ除去する。しかし、少量の油やグリースはブラストで除去してよい。

(2) 過度のラストスケールはハンドツール（SSPC-SP2-63）またはパワーツール（SSPC-SP 3-63）で定められた衝撃工具によってあらかじめ除去するがよい。

(3) ブラスト処理を行なうには研削材の選択、空気圧などに留意しなければならない。あまりに粗大な研削材を用いればアンカーパターンの H_{max} が過大となって塗膜の耐久性に悪影響がある。 H_{max} と粒子径と

の関係を図 3¹⁷⁾に示す。高濃度亜鉛塗料に対する H_{max} の最適値は 20~40 μ であるが、最大でも 75 μ を限度とすべきである。研削材の種類と粒度を慎重に選定すべきである。

図 3 研削材粒度と H_{max}

(4) ブラスト用の圧搾空気はできるだけ水分や油分を含まないように、適当な分離機やトラップを設備すべきである。

(5) ブラスト作業は危険を伴うからマスクの装着、安全眼鏡の着用、ブラスト粒子からの作業員の保護、ブラスト用ホースの接地など保安に充分留意を要する。

3・1・2 ブラスト後の掃除、検査

(1) ブラストされた表面はきれいなブラシをかけあるいは真空掃除機で清掃するものとする。

(2) ブラストした面はすみやかに検査を行ない、再発錆をきたす前にプライマー塗装を終了しなければならない。もしブラストしたまま夜間放置すれば、湿度が高いときは暁方発露して発錆するから再ブラストを要する結果となることが多い。

3・2 塗装

3・2・1 高濃度亜鉛塗料の塗装

(1) ケイ酸ソーダ系亜鉛塗料はエアレス塗装では塗装困難で、エヤスプレーまたは刷毛塗りを行なう。ケイ酸エチル系亜鉛塗料および有機系亜鉛塗料はエアレスプレー、エヤスプレー、刷毛塗りなどで塗装できる。

(2) 2 容器型または 3 容器型の塗料は、塗装開始直前に混合し、ポットライフ以内に使用し終える程度に塗料の準備を行なうものとする。

(3) 亜鉛粒子の比重は大きいからなるべく自動かくはん装置のついた塗装機を使用するのがよい。自動かくはん装置がついていない場合にはなるべくひん繁にかくはんしながら塗装するものとする。

(4) プライマーとしての膜厚は 10~15 μ を標準とし、20 μ をこさないように留意を要する。20 μ をこせば溶断溶接に害がある。

(5) プライマー塗装の場合は膜厚が薄いので、速乾性の塗料を用い必ずスプレー塗装する必要がある。刷毛塗りをすればアンカーパターンのピークが露出するおそれがあるし、乾燥のおそい塗料では、スプレー塗りによってプロフィールに平行に塗膜が付着しても、時間がたてば谷部に塗料が流れてピーク部を露出しやすいからである。

(6) スプレー塗りを行なう場合は塗料の種類、気温、湿度などによってノズルの被塗物からの距離、噴射圧力、液の濃度などを適当に加減することが好ましい。たとえば、気温27℃以上湿度25%以下のとき、ケイ酸ソーダ系では水分を多くして早期硬化を防ぎ、ケイ酸エチル系では溶剤の迅速な蒸発による塵化を防ぐため、ノズルを被塗面に近づけ噴射圧力を低下させる。また気温15℃以下湿度90%以上のとき、ケイ酸ソーダ系では硬化がおそく垂れを生じやすくなるので、ノズルを塗面から遠くし噴射圧力を上げるなどの注意が必要である。

(7) 2容器型または3容器型の塗料の塗装を中断し、または塗装を終了したときは、必ずすぐにポンプ、ホース、ガンなどの塗装具を溶剤で清掃しなければ、器具内で塗料がゲル化して使用不可能となる。

3・2・2 有機質絶縁塗料の上塗り 高濃度亜鉛プライマーに有機質絶縁塗料を上塗りすれば、塗膜寿命を著しく延長することはすでに述べた。しかし、施行方法を誤ればふくれやピンホールを生じてかえって寿命を短くすることもありうる。

塗装後間もなく大気暴露中に生ずるふくれやピンホールと水中浸漬中に生ずるふくれとはその成因が異なっている。大気暴露で塗装後間もなく生ずる欠陥は、¹⁸⁾塗料硬化の際生ずるガスによるものとプライマー中のピンホールによるものとある。プライマーが十分に硬化するまでは溶剤の蒸発などによって塗膜面からガスが出るものが多いが、この上にあまり早く有機塗料の上塗りを行なえば、ガスが塗膜下に封入されてふくれを生じやすいから、有機上塗料はプライマー塗装後2～3日以上経過後に行なうのがよい。無機系高濃度亜鉛塗料の塗膜にはピンホールが多いが、この上に有機塗料の上塗りをすれば、ピンホール中にガスまたは空気が封入される。その中に上塗塗料の溶剤や展色剤が流入すればピンホール中のガス圧が上昇する。上塗塗膜が破壊しないほど強ければふくれとなり、塗膜がガス圧に耐えないで爆発すればピンホールとなる。

水中に浸漬するときに生ずるふくれは、亜鉛プライマーの過度の電気化学的作用による水素ガスの発生、アルカリ性の増大などに起因するものである。大気暴露長時間後のふくれ発生も大気中の水分によるものである。これはピンホールの多い塗膜の上あるいは活性

度の強い塗膜の上に上塗りする場合に発生しやすい。

これらのふくれやピンホールを防止するには、次の諸方法による。

(1) 有機塗料の上塗りはプライマー塗装後2～3日以上経過してから行なうのがよい。

(2) プライマー膜上のピンホールを少なくする方法を講ずること。

(a) 硬化液を使用する場合はピンホールはふさがる。

(b) 2.5%リン酸を刷毛塗りして水洗を行なう。

(c) ウォンプライマーを塗る。膜厚は25 μ (2回塗り)程度がよい。ただしウォンプライマーの展色剤には油性を避ける。

(d) 大気暴露を屋外で1週間以上すればピンホールの大部分は水酸化亜鉛、塩基性炭酸亜鉛などによってふさがれる。暴露期間はなるべく長いほうがよい。しかし、亜硫酸ガスの非常に多い環境で長く暴露したときは、溶解性の腐食生成物ができるから水洗をしてから上塗りを行なうのがよい。

(e) 亜鉛プライマーを2回塗る。

(3) 亜鉛末に不活性顔料を混ぜ、金属亜鉛末のPVCを60%程度とする。

(4) 常時水中浸漬する場合は、不透水性の大きいシーラーコートの中塗りを行なうことが望ましい。

(5) プライマー塗装後長時間暴露して有機絶縁塗料を上塗りする場合に、どのような処理をすれば上塗りのふくれが減少するかについて、Byrnes¹⁹⁾が研究結果を報告している。これを図4に示す。この試験ではふくれ発生傾向を明らかにするため、特に試験片を50℃の人工海水中に浸漬した。ウォンプライマーを塗装しない場合、水洗後塗装したものはふくれ発生率が小さいが、ワイヤブラシのみでは6ヶ月以上経過したものはふくれ発生が多い。ウォンプライマーを塗装したものは、水洗でもワイヤブラシでも同様の傾向を示し、暴露期間の短いものはふくれ発生が多く、暴露期

図4 暴露後の処理法とふくれ発生率

表Ⅶ 溶接部の前処理、塗料の影響 (15 mon. 暴露)

(ASTM-D610-43 による成績評価)

塗 料		前 処 理	手 動		動 力		サンドブラスト		平 均
		溶 接 棒	E 6010	E 6024	E 6010	E 6024	E 6010	E 6024	
プライマー の み	TT-P-86a Type 1		6 4	6.9	6.8	7.2	7.6	7.7	7.1
	SSPC Paint 2		6.5	6.9	6 9	7 3	7 8	7.9	7.2
	SSPC Paint 11		6 7	7.1	6 8	7.2	8.0	8.4	7.4
	SSPC Paint 13		6.4	6.9	6 8	7.2	8.0	8 3	7.3
プライマー と 上 塗 り	TT-P-86a Type 1		8.2	8.7	8 4	9.2	9.5	9.7	8.9
	SSPC Paint 2		8 1	8.8	8.6	9.1	9.4	9.7	8.9
	SSPC Paint 11		7 9	9 0	8.3	8.9	9.4	9.6	8.8
	SSPC Paint 13		7 9	8.7	8 3	8.9	9 4	9.7	8 8

間が長くなればふくれ発生は著しく減ずる。なお、プライマーの膜厚が厚くなればふくれの発生は減少し、3 mil の厚さではふくれを生じなかった。またウオシプライマーを2回塗ったものもふくれが出なかった。

3・2・3 無機系亜鉛塗料による上塗り 高濃度亜鉛プライマーを塗装した鋼板は、上塗りされるまでに長期間大気中に暴露され種々の加工を受けるのが通例である。そこで表面に油類の付着する機会が多いが、いかなる油、グリース、油性マーキング塗料も高濃度亜鉛塗料の密着性を阻害する。表面の油類は充分に除去しなければならない。なお表面に付着しているよごれ、粗雑な白さびなどはワイヤブラシまたは水洗で除去して上塗りを行なうものとする。

3・2・4 溶接部の前処理および塗装 Keane²⁰⁾は溶接部の処理法と塗装について、SSPC の行なった詳しい研究について発表しているが、溶接部の前処理、溶接棒、塗料などの影響を ASTM-D610-43 によって評価した成績を表Ⅶに示す。

試験結果の概要は

(1) 前処理としてはサンドブラストが最良の成績を示し、動力処理、手処理の順に成績が下がる。火焰清浄は動力処理とはほぼ同様の成績である。

(2) リン酸、硫酸洗いの上水洗する方法は、サンドブラストと動力処理の中間の成績である。溶接部を手処理または動力処理をする場合水洗を行なえば成績がよい。

(3) プライマーとしては高濃度亜鉛塗料を塗装したものが最も好成績であった。

(4) 溶接棒はスパタ発生²¹⁾の少ないものが成績がよい。嶋谷らの溶接部前処理試験結果は次のとおりである。

(a) 高濃度亜鉛プライマー溶接部の処理法としてリン酸処理は不適である。

(b) タッチアップの膜厚が薄いときはよい下地処理をしても成績が悪い。

(c) 海水浸漬に対してはサンドブラストした試験片が最良の結果を与える。

(d) 溶接部補修塗用塗料としてはコールタールエポキシが最適で、動力処理程度で好成績が得られる。

4 溶 断、溶 接

4・1 溶断、溶接と健康問題

溶断、溶接の場合には無塗装の場合でさえ健康上有害な程度のガスを発生する。関西ペイントの調査では表Ⅸに示すように、無塗装でも忍限量をかなり超過している場合が多い。したがって、作業員には金属煙気用マスクまたはミクロンフィルターマスクを装着させることが望ましい。

表Ⅸ 溶断、溶接時のヒューム量 (個/cm³)

(作業者の呼吸位置)

プライマー の 種 類	膜厚 (μ)	溶断	溶 接					
			手 溶 接				自動, 突合せ	
			突 合 せ		隅 肉			
			最高	平均	最高	平均	最高	平均
無 塗 装	0	2 600	3 400	2 500	3 800	3 200	350	350
ウ オ シ プライマー	8-15	3 700						
	20-25		3 500	2 700	4 100	3 400	400	350
ジ ン ク プライマー	8-15	3 200						
	14-30	7 700	3 900	2 900	4 100	3 700	450	350

忍限量は 1 000 個/cm³

高濃度亜鉛プライマーの場合には溶断、溶接時に、ZnO ヒュームを発生するが、これが忍限量 5 mg/m³をこすときは作業員が亜鉛熱病にかかるおそれがある。亜鉛熱は40℃内外の高熱で頭痛悪寒を訴えるが、長続きすることは無く、翌日は回復し後遺症は残らない。しかし、作業員に不快感を与えるから通風のよい場所で作業をさせ、もし狭隘な場所で溶断、溶接を行なうときは通風を充分に良好にする必要がある。マスクの

中に薄い酢酸をしませたガーゼを入れれば不快感を減ずる。広い場所で作業する場合には、 ZnO が忍限量

表X 溶断, 溶接時の ZnO 濃度(英国北部保健所, 膜厚 12.5~15 μ)

プライマーの種類	乾燥塗膜中の ZnO 濃度 (%)	塗膜中の Zn 量 (OZ/ft ²)	ZnO 濃度 (mg/m ³)			
			溶 断		溶 接	
			平均	最大	平均	最大
1	93.6	0.25	4	4	4	4
2	90	0.22	3	3	3	3
3	80	0.18	2	2	2	3
4	70	0.15	3	3	2	2
5	60	0.11	3	3	2	2
6	50	0.07	2	2	2	2
7	25	0.03	2	2	2	2

試験の条件

室の容積 溶接 10 000 ft², 溶断 1 000 ft²

試料採取位置 溶接, 溶断部から距離 21 in, 高さ 18 in

溶接, 溶断の長さ 溶接 25 ft 以上, 溶断 40 ft 以上

静止空气中

をこすおそれはほとんどない。表Xに英国北部保健所の試験成績を示す。山岸も高濃度亜鉛プライマーを塗った鋼板の溶断, 溶接で ZnO はあまり忍限量をこさないことを示している。

4・2 溶断

溶断に関しては無塗装, ウォンプライマー (W/P), 高濃度亜鉛プライマー (ZRP) など塗装した場合について日本油脂, 三菱重工業神戸造船所, 日本ペイント, 日立造船因島工場²⁴⁾などで広範な試験を行なっているが, 膜厚管理を適当に行なえば溶断速度, 溶断面粗度などにはほとんど悪影響を与えないことが明らかとなった。溶断速度, 溶断面粗度など溶断性能に影響を与える因子はプライマーの膜厚で, プライマーの種類にはあまり関係が無く, 高濃度亜鉛塗料の中でも有機系と無機系との差は認められない。膜厚 30 μ 以下ではあまり大きい影響はなく, 15 μ 以下ではほとんど悪影響が無いといつてよい。

表XIは日本ペイントの行なった溶断試験結果を代表

表XI 日本ペイントの溶断試験成績

板厚 (mm)	塗 料		膜 厚 (μ)	切断スタート速度 (min)	切 断 速 度 と 粗 度				焼 幅 (mm)
					最 大 速 度		標 準 速 度		
					mm/min	粗 度	mm/min	粗 度	
6	エ ポ キ シ Z R P	EZ-A (90% Zn)	12	12.9	779	×	507	◎	3-4
			20	14.8	617	×	468	○	2-3
			25	18.5	617	×	453	○	2-3
		EZ-B (94% Zn)	12	15.1	698	×	504	○	3-4
			20	16.7	698	×	471	◎	2-3
			27	18.0	617	×	470	○	2-3
	Z D P	EZ-C (82% Zn)	12	22.7	698	△	491	◎	2-3
		EZ-D (81.3% Zn)	12	14.8	617	×	467	◎	2-3
		EZ-E (87.5% Zn)	12	17.5	618	△	512	◎	3-4
		EZ-F (82% Zn)	12	19.4	698	△	538	◎	3-4
		EZ-G (S社製)	12	20.1	779	△	482	◎	5-7
	長 暴 W/P (N社)	12	17.8	779	△	602	◎	10-15	
		20	20.0	757	△	520	◎	10-15	
		長 暴 W/P (T社)	12	20.1	779	△	555	◎	10-15
	無 塗 装	0	13.8	927	△	617	◎	—	
	22	EZ-B	12	40.6	779	△	314	◎	3-4
			20	47.0	617	×	305	○	2-3
			30	52.8	617	×	296	○	2-3
W/P-A		12	40.4	779	△	300	○	10-15	
		20	51.1	698	×	281	△	10-15	
無 塗 装		0	40.4	779	△	342	◎	—	

◎ 良好

○ 普通

△ やや不良

× 不良

的に示したものである。

4・3 溶接

溶接については無塗装、ウオシプライマー、高濃度亜鉛プライマーを塗装した軟鋼板、高張力鋼板などについて神戸製鋼所、橋河橋梁と日本ペイント²⁴⁾、石川島播磨重工業東京工場、日立造船因島工場²⁵⁾、日本油脂、三菱重工業神戸造船所、鉄鋼短期大学、富士溶接棒などで広範な試験を行ない膨大な報告が出されているが、紙数の制限で全部を引用することができないから、代表的な数例を示すにとどめる。表XIIは神戸製鋼所の行なった塗料成分のブローホール発生に与える影響を示すもので、亜鉛顔料よりエポキシ樹脂のほうがブローホール発生の主役であることを示している。表XIIIは日本油脂が軟鋼板を用いた溶接試験結果で、プライマ

ーの種類を問わず、膜厚が15μのときは機械的性質、ブローホールともに無塗装の場合と差が無いことを示している。表XIVは鉄鋼短期大学の行なった高張力鋼溶接部の機械的性質を示したもので、プライマーの種類、膜厚による差は認められず無塗装の場合とほぼ同じである。表XVは鉄鋼短期大学で高張力鋼溶接部のX線透過試験を行なった結果を示すもので、亜鉛プライマーは無塗装よりややよく、ウオシプライマーは無塗装よりやや悪い結果を示している。

各所の試験結果を要約すれば次の結論が得られる。

表XIV 高張力鋼溶接部の機械的強度
(V型突合せ 10 mm 板)

(鉄鋼短期大学)					
塗料	膜厚 (μ)	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	破断位置
無塗装	0	66.8	50.8	30.0	溶着部
W/P (2液型)	7-10	66.4	50.4	34.8	ボンド
	17-20	66.0	50.1	25.7	溶着部
W/P (1液型)	7-10	68.4	53.4	26.4	溶着部
	17-20	65.2	50.7	29.9	溶着部
有機ジンク プライマー	7-10	65.1	47.0	25.8	溶着部
	17-20	65.2	49.2	32.2	溶着部

表XII ブローホールに及ぼす塗料成分の影響

(神戸製鋼所)				
成分	膜厚 (μ)	ブローホール数		
		1	2	計
Zn 水練り	8-15	56	15	71
SD ジンクリンチ ZE プライマー	20~40	95	76	171

材質 SM 41, 板厚 12 mm, 溶接棒 LB 52-28, 電流 300 A

表XIII 日本油脂突合せ溶接試験成績

軟鋼板厚 (mm)	塗 料		膜 厚 (μ)	引 張 試 験			破 面 状 況			裏曲げ、表曲げ 合計ブローホール数		
				降伏点 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	破断部	ブローホ ール数	銀点数	大	小	計
20	無 塗 装		0	36.0	45.6	12.0	溶 金	10	1	9	12	21
	長 暴 W/P	A	15	29.3	41.6	26.8	溶 金	13	0	6	4	10
			15	33.8	45.4	21.6	溶 金	6	3	0	3	3
		B	15	28.7	42.4	30.0	溶 金	10	3	3	9	12
			C	15	28.2	41.6	25.8	溶 金	11	0	0	7
	エポキシ ZRP		15	31.6	43.6	21.6	溶 金	5	1	1	3	4
			15	33.8	45.0	22.0	溶 金	7	4	6	14	20
			30	35.8	45.6	22.0	溶 金	23	1	7	30	37
12	無 塗 装		0	30.0	44.2	34.4	母 材	9	1	0	0	0
	長 暴 W/P	A	15	30.2	44.9	32.6	溶 金	1	0	0	0	0
			15	29.2	44.8	33.0	溶 金	1	0	0	2	2
		B	15	29.5	44.9	36.8	溶 金	0	0	0	0	0
			C	15	30.4	44.9	32.0	溶 金	3	0	0	0
	エポキシ ZRP		15	30.2	45.3	35.0	母 材	2	0	0	0	0
			15	—	44.8	30.0	溶 金	1	0	2	1	3
			30	31.1	46.0	32.0	溶 金	4	0	0	0	0

表 XV 高張力鋼溶接部 X線透過成績表

(鉄鋼短期大学)

塗 装	膜厚 (μ)	板厚 6 mm		板厚 10 mm		板厚 12 mm	
		欠陥数	判定級	欠陥数	判定級	欠陥数	判定級
無 塗 装	0	6	3	14	4	6	3
W/P (2液型)	7-10	0	1	9	4	5	3
	17-20	1	2	14	4	14	4
W/P (1液型)	7-10	0	1	12	4	2	2
	17-20	5	3	9	4	8	3
有 機 シ ン ク プ ラ イ マ ー	7-10	2	2	5	3	8	3
	17-20	5	3	3	2	2	2

4・3・1 ブローホールおよび機械的性質

- (1) 無塗装の場合でもかなりブローホールが出る。
- (2) さびた鋼板の溶接はブローホールが出やすい。
- (3) 湿潤した溶接棒はブローホールを多く発生する。
- (4) 市販の低水素溶接棒はブローホールを発生しやすい。特製の低水素溶接棒はブローホール発生が少ない。

(5) 顔料より展色剤のほうがブローホール発生に関係が深い。特に有機展色剤はその傾向が強い。

(6) プライマー膜厚を増せばブローホールを増し、強度も低下する。膜厚は 10~15 μ を適当とし、20 μ を超過させることは避けたほうがよい。

(7) 溶接方法は、突合せより隅肉溶接のほうがブローホールが出やすく、手溶接より自動溶接特に隅肉自動溶接のほうがブローホールが出やすい。溶接脚長は長いほうがブローホールが少ない。溶接部の開先を大きくとり、開先の間隔を大とすればブローホールは減ずる。

(8) 亜鉛プライマーを塗った高張力鋼は、溶接の際ブローホールが多く発生すると称せられているが、これは原因の誤認に基づくものである。高張力鋼は溶接時き裂が発生しやすいためこれを防ぐために低水素溶接棒が用いられているが、市販の低水素溶接棒はブローホールを多発するものが多かったため誤解されたのである。

特製の低水素溶接棒を用いれば問題はない。

(9) 溶接部の機械的性質はプライマーの種類によって影響されない。膜厚も 30 μ 以下ではほとんど悪影響はない。

4・3・2 溶接作業性

アークスタート、アーク安定度、ビード外観、スパタなど溶接作業性に及ぼすプライマーの影響は、膜厚 20 μ 以下では、プライマーのいかなを問わずほとんど無い。

5 高濃度亜鉛塗料の耐食性

高濃度亜鉛塗料は常温で施行できる鉛亜メッキといわれているとおり、同じ膜厚では亜鉛メッキ、亜鉛メタリコンとほぼ同等の防食能力を持っている。図 5 に各種環境における亜鉛メッキと高濃度亜鉛塗装との耐久性の例を示した。

図 5 暴露環境と亜鉛被覆の寿命

ケイ酸ソーダ亜鉛塗料では Pass¹³⁾らが Dartford¹⁶⁾で約 9 年にわたる暴露試験を行なったが、その結果を図 6 に示す。この図から Dartford における亜鉛の消耗度は 6 μ /year であることがわかる。Dartford の大気汚染度は SO₃ で 2 mg/day 程度である。Hudson²⁷⁾らは大気汚染度と亜鉛消耗度との関係を調査したが、そ

図 6 大気暴露による膜厚変化

図 7 SO₃ 大気汚染度と亜鉛腐食度

の結果を図7に示す。図7で大気汚染度 SO_2 2mg/day のとき亜鉛の消耗度は約 $6\mu/\text{year}$ であり、Dartford の成績とよく一致している。

Dartford のような大気汚染度でも、有機絶縁塗料の上塗りを行えば、5年の暴露試験の結果では亜鉛塗膜には少しの消耗も生じなかった。ウオンプライマーを上塗りしただけでも3年の暴露試験で亜鉛の消耗度は $1.2\mu/\text{year}$ と著しく小さくなった。高濃度亜鉛プライマーと有機質絶縁塗料との組合せの優秀性を立証しているものと思われる。

亜鉛メッキ、亜鉛末塗料などの亜鉛被覆は海水浸漬では消耗が速い。図5によれば海水中の亜鉛の消耗度は約 $20\mu/\text{year}$ である。Alumbaugh²⁸⁾ らも海中鋼くいで試験しているが、亜鉛メタリコンは裸のままでは 100μ の膜厚で約4年の寿命で、消耗度は約 $25\mu/\text{year}$ であった。これにサラン、ビニル、エポキシあるいはフランなどを上塗りすれば、海中浸漬部、潮位干満帯、飛沫帯ともに塗膜寿命を10年以上に延長することができた。高濃度亜鉛塗料を海水環境で使用する場合には、適当な上塗りを行なってその特徴を充分に発揮させる必要がある。

参 考 文 献

- 1) Mayne, J.E O, J SCI, **66** (1947)
- 2) Mayne, J E.O, J. steel & Inst, 143 (1954).
- 3) Elm, A.C., Offic. Digest Fed. Sect., Paint Technol., **29**, No. 336 (1957).
- 4) Floyd, E., *et al.*, Offic. Digest, 38-55 (1963).
- 5) Mason, D.G., Mater. Prot., **6**, No. 5, 43 (1967).
- 6) Munger, C G., Mater. Prot, **2**, No. 3, 8 (1963).
- 7) Flack, V.L., Mater. Prot., **2**, No. 3, 36 (1963).
- 8) Doolittle, A.K., Mater., Prot., **2**, No. 11, 32 (1963).
- 9) Finley, C, *et al*, Corr. Tnechol, **1**, No 12 (1954).
- 10) 桑原謙之, 防蝕技術, **14**, No. 2, 49 (1965).
- 11) Shaw, A.J.G Corr. Prev. & Cortr, **9**, No. 11 (1962).
- 12) Sommerville, G. R, *et al.*, Mater. Prot., **2**, No. 11, 58 (1963).
- 13) Pass, A., *et al.*, J. Oil & Colour Chem. Assoc., **48**, No. 10 (1965).
- 14) Lopota, S.T., *et al*, U.S. Patent No. 3056684 (1962).
- 15) S. S. P. C., "Surface Preparation Spec., (1963).
- 16) S S. A., "Swedish standards SIS 055900" (1962).
- 17) Bigos, J, Corrosion, **15**, No 8, 428t (1959).
- 18) McGlothlin, Q. T., *et al.*, Mater. Prot., **5**, No. 2, 25 (1966).
- 19) Byrnes, G.B., Corr. Technol., **12**, No. 8, 12 (1965).
- 20) Keane, J.D., *et al*, Corrosion, **16**, No. 12, 601t (1960).
- 21) 嶋谷四郎ら, 三井造船技報, **60**, 2 (1969).
- 22) 関西ペイント "ショッププライマー塗装鋼材の溶接, 溶断性と作業時の安全衛生について"
- 23) 山岸寛次, 造船技術, **2**, No. 1, 78 (1968).
- 24) 待鳥正彦ら, 日立造船技報, **25**, No. 1, 55 (1964).
- 25) 伊佐重輝ら, 金属表面技術, **18**, No. 9, 337 (1967).
- 26) Burks, R. M., *et al.*, "Protective Coatings for Metals", 2nd Edition (1953).
- 27) Hudson, J C, *et al*, J. of Applied Chem., **3** (1953).
- 28) Alumbough, R.L., *et al.*, Mater. Prot., **6**, No. 8, 37 (1967).